



Module GYPTIS version 1.0 : contact unilatéral avec frottement en mécanique des structures, inéquations variationnelles

Jean-Claude Latil, Michel Raous

► To cite this version:

Jean-Claude Latil, Michel Raous. Module GYPTIS version 1.0 : contact unilatéral avec frottement en mécanique des structures, inéquations variationnelles. [Rapport de recherche] Publications du LMA, numéro 132, LMA. 1991, 93 p. hal-01365737

HAL Id: hal-01365737

<https://hal.science/hal-01365737>

Submitted on 13 Sep 2016

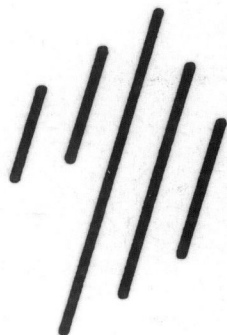
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PUBLICATIONS DU L.M.A.

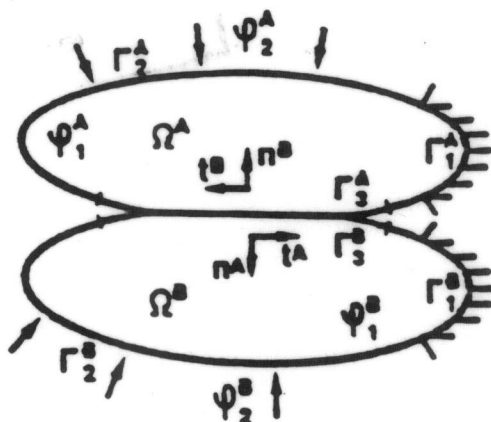
n° 132 (juin 1991)

NOTES SCIENTIFIQUES



MODULE GYPTIS VERSION 1.0
CONTACT UNILATERAL AVEC FROTTEMENT
EN MECANIQUE DES STRUCTURES
INEQUATIONS VARIATIONNELLES

Jean-Claude LATIL et Michel RAOUS



Légende de la figure de couverture : Le problème du contact
de deux solides.

PUBLICATIONS DU L.M.A.

n° 132 (juin 1991)

NOTES SCIENTIFIQUES

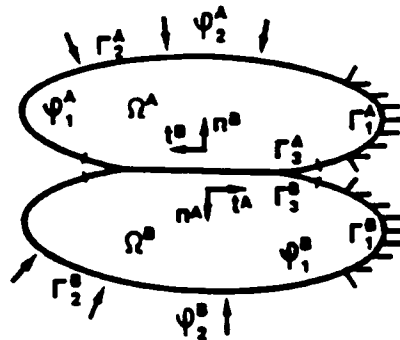


PHYS

MEC

**MODULE GYPTIS VERSION 1.0
CONTACT UNILATERAL AVEC FROTTEMENT
EN MECANIQUE DES STRUCTURES
INEQUATIONS VARIATIONNELLES**

Jean-Claude LATIL et Michel RAOUS



CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Publication répertoriée dans la base PASCAL de l'INIST.

MODULE GYPTIS VERSION 1.0
CONTACT UNILATERAL AVEC FROTTEMENT
EN MECANIQUE DES STRUCTURES
INEQUATIONS VARIATIONNELLES

Jean-Claude LATIL et Michel RAOUS
Centre National de la Recherche Scientifique
Laboratoire de Mécanique et Acoustique
31 Chemin Joseph Aiguier, 13402 MARSEILLE CEDEX 09



I - INTRODUCTION

Le module GYPTIS permet de résoudre des problèmes de contact unilatéral avec frottement de Coulomb entre une structure et un obstacle fixe ou entre différents solides déformables. Le problème est ici posé et résolu pour de petites déformations élastiques. L'extension à la viscoélasticité, la viscoplasticité ou l'élastoplasticité en grandes déformations a été réalisée par ailleurs (voir références [2], [3], [4] ci-dessous).

Il s'agit de problèmes pour lesquels l'état de contact est inconnu, c'est à dire qu'à la fois l'étendue exacte de la zone de contact et les forces de contact font partie des variables du problème. Le contact unilatéral, c'est à dire la condition de non pénétration, s'écrit sous la forme d'un problème de complémentarité (problème de Signorini). La loi de frottement est celle, classique, de Coulomb, loi à seuil liée à la force normale de contact dépendant de la solution : ceci explique le caractère implicite du problème posé. Cette loi de Coulomb est utilisée ici sous sa forme non régularisée et ceci est un point important de la méthode numérique proposée qui la différencie des méthodes de type compliance ou pénalisation.

Le formalisme adopté est celui des inéquations variationnelles. On trouvera dans la référence [1] les détails concernant le modèle, son expression mathématique et sa résolution. Cet article fait l'objet du paragraphe II.

Le problème se pose sous sa forme la plus naturelle en termes d'inéquation variationnelle implicite (ou sous forme d'inéquation quasi-variationnelle si on l'écrit sous sa forme duale). Moyennant l'introduction d'un problème de point fixe sur le seuil de glissement on se ramène à la résolution du problème couplé associant le point fixe sur le seuil de glissement à la résolution d'un problème d'inéquation variationnelle correspondant en fait à un problème de Tresca. On notera la présence d'un terme non différentiable (la valeur absolue des déplacements tangentiels de contact) provenant du frottement.

Grâce à la symétrie de l'opérateur d'élasticité, le problème est ici posé et résolu sous la forme d'un problème de minimisation sous contraintes (sur un convexe défini par la condition de non pénétration). On se limite à l'utilisation d'éléments P1 droits qui conduisent à un problème approché bien posé et qui permettent d'écrire le convexe de la condition de

non pénétration sous forme produit : la projection s'écrit alors simplement composante par composante.

On utilise une technique de projection associée à la méthode de surrelaxation. L'aspect relaxation ponctuelle ainsi que la séparabilité du convexe discrétisé en espace produit font de la méthode SORP (Successive Over-Relaxation with Projection) un procédé facile à mettre en oeuvre et assez robuste. La vitesse de convergence dépend du choix du coefficient de relaxation. Il n'y a pas d'estimation théorique d'une valeur optimum de ce coefficient dans le cas avec contraintes traité ici. Si plusieurs calculs sont effectués sur un même maillage, une recherche dichotomique de cette valeur optimum est recommandée. Sinon, on suggère une valeur comprise entre 1.50 et 1.95. On notera toutefois que la convergence est moins sensible à la valeur de ce coefficient dans le cas avec frottement que dans celui sans frottement : ceci provient du fait que les itérations de point fixe sur le seuil de glissement impliquent de toute manière un nombre d'itérations de relaxation plus élevé. En ce qui concerne ces itérations sur le seuil de glissement g , le procédé diagonal utilisé est le suivant : pour les premières itérations sur g , une résolution grossière est effectuée, et la résolution fine sera menée à terme seulement à l'approche de la détermination précise de g . Un gain de trois à quatre est ainsi obtenu sur le temps total de résolution.

Un procédé de condensation est aussi proposé dans GYPTIS. Il s'agit, par une inversion partielle de la partie linéaire du système, de poser le problème non linéaire sur les seules variables de contact et de travailler ainsi sur une matrice pleine mais de taille réduite.

Nous utilisons également :

- un procédé d'accélération de Aitken qui ne nécessite pas de choix particulier du coefficient optimum,
- une méthode de programmation mathématique de Lemke-Cottle-Dantzig qui est une méthode directe très performante.

Ces méthodes, de développement récent, feront l'objet d'extensions ultérieures du module GYPTIS.

Il en sera de même pour les méthodes multigrilles mises en oeuvre sur ce type de problèmes dans l'équipe Mécanique et Méthodes Numériques au Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique [5].

Le module proposé ici a été largement testé sur un certain nombre de Benchmarks, définis notamment par le Groupe validation de codes de calcul du GRECO Grandes Déformations et Endommagement. Il a été également utilisé sur un certain nombre d'applications de type industriel (assemblage de structures, mise en forme,...).

- [1] RAOUS M., CHABRAND P., LEBON F., 'Numerical methods for frictional contact problems and applications', J. Mec. Theor. Appl., n° spécial, supplément au vol. 7, 111-128, 1988
- [2] RAOUS M., 'Contacts unilatéraux avec frottement en visco-élasticité', in "Unilateral Problems in Structural Analysis", Ed. Pr. Maceri, Del Piero, C.I.S.M., Springer-Verlag 1985
- [3] RAOUS M., LATIL J.-C., 'Code d'éléments finis pour des problèmes contact unilatéraux avec frottement formulés en termes d'inéquations variationnelles', in "Unilateral Problems in Structural Analysis", Ed. G. Del Piero, C.I.S.M., n° 304, Springer-Verlag, 1987
- [4] CHABRAND P., PINTO Y., RAOUS M., 'Numerical modelling of the friction in small and finite strains for metal forming processes. Analysis of the blackholder function', Euromech 273 : Unilateral Contact and Dry Friction, La Grande Motte 29 Mai-1er Juin 1990
- [5] LEBON F., RAOUS M., LATIL J.-C., GREGO L., 'Multigrid methods in non linear structure mechanics', Conférence Européenne sur les Nouvelles Avancées en Calcul des Structures Giens, 2-5 Avril 1991

II - FORMULATION

Numerical methods for frictional contact problems and applications

M. RAOUS, P. CHABRAND et F. LEBON

Centre National de la Recherche Scientifique
 Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique
 13402 Marseille Cedex 9, France

et

GRECO Grandes Déformations et Endommagement

Résumé - Nous présentons ici une synthèse des différentes méthodes numériques développées au laboratoire ces dernières années pour résoudre les problèmes de contact unilatéral avec frottement. Les formulations variationnelles classiques associées au cas statique sont étendues au cas de chargements quasi-statiques complexes par l'introduction de termes en vitesse dans ces formulations. La généralisation aux problèmes de viscoélasticité et viscoplasticité est donnée. Les méthodes utilisées pour le contact sont de différents types : relaxation avec projection, programmation linéaire, point fixe sur conditions aux limites par pénalisation. Des techniques d'amélioration des performances des algorithmes sont présentées. L'efficacité des algorithmes est discutée sur des exemples test, et des applications à des exemples de type industriel sont présentées.

Abstract - We present a synthesis of the different numerical methods developed these last few years in the laboratory to solve frictional unilateral contact problems. The classical variational formulations associated to the static case are extended to complex quasi-static loading cases by the use of velocity terms in the formulations. A generalization for viscoelasticity and viscoplasticity is given. Contact is dealt with by the use of different numerical methods : relaxation with projection, mathematical programming, fixed point on boundary conditions through penalization. Techniques for improving the algorithms are presented. Their efficiency is discussed on test examples and applications concerning industrial problems are presented.

1. INTRODUCTION

Contact problems are characterized by non linear relations between displacements, or rates of displacement and forces on a part of the boundary. The real contact area and the contact forces are unknown a priori and have to be determined by solving the whole problem. They are characterized by a set of inequalities which lead to a complementarity problem [1]. In elasticity, the associated variational form is set as an implicit variational inequation. An extension is given for viscoelasticity and viscoplasticity by introducing a coupling with a linear or non linear differential equation.

The model is generalized to several body contact problems. Duvaut [2] gave a formulation of the Signorini problem with friction for the static case. We first give numerical methods based on punctual relaxation to solve this problem. Different

accelerating processes are used so as to obtain a powerful algorithm even for large dimensional problem. A generalization for quasistatic evolutive problems is given. A velocity formulation leads to an incremental form solved by a step by step algorithm using the previous numerical techniques. For frictionless problems, mathematical programming methods are also used [1]. The efficiency is appreciated on a few test examples provided by a group of the GRECO 'Grandes Déformations et Endommagement' and applications to industrial examples are presented.

2. THE SIGNORINI PROBLEM WITH FRICTION

We first set a unilateral contact problem between an elastic solid and a rigid obstacle for the static case under small transformation hypothesis. It is a Signorini's problem with friction [2]. We denote by Ω the open set limiting the solid. Its boundary $\partial\Omega$ is separated as follows $\partial\Omega = \Gamma_1 \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_3$. On Γ_1 , we impose homogeneous boundary conditions. On Γ_2 , a force density Φ_2 is applied. The part Γ_3 is concerned by the contact with the rigid obstacle. We denote u the displacement field. On Γ_3 , we partition the vector u (in fact in the sense of the trace of u) and the density contact force vector F into normal and tangential components (n is the exterior normal unit vector to Γ_3):

$$u = u_n n + u_t, \quad F = F_n n + F_t \quad (1)$$

In Ω , a force density Φ_1 , and a thermal strain are prescribed $e^0 = -\chi(\theta - \theta_0)$; χ is the dilatation tensor, θ the actual temperature field and θ_0 the initial one.

Unilateral conditions

The unilateral conditions, written on the part Γ_3 of the boundary, lead to the following complementarity conditions

$$u_n \leq 0, \quad F_n \leq 0, \quad u_n \cdot F_n = 0 \quad (2)$$

The case $\{u_n = 0, F_n < 0\}$ characterizes the contact zone and the $\{u_n < 0, F_n = 0\}$ corresponds to the separate part.

Note 1: for this formulation, Γ_3 is defined as the initial real contact area and only a loss of contact on Γ_3 will be allowed. The extension of the contact area cannot be modeled by these relations. More generally, we could write:

$$u_n - \alpha \leq 0, \quad F_n \leq 0, \quad (u_n - \alpha) F_n = 0 \quad (3)$$

where α is a given function defined on Γ_3 as the initial distance of each point of Γ_3 to the obstacle. For large displacements a satisfactory definition of α is a serious problem, but under a small transformation hypothesis there is no ambiguity and the distance may be defined according either to the normal to the solid or the normal to the obstacle. We have to note that under a small transformation hypothesis, relations (3) are incorrect because u_n is an infinitesimal function and α a finite one. Nevertheless, this will be used in the numerical model.

Friction conditions

We use here the classical Coulomb friction law. In spite of its elementary form, this friction law is capable of describing correctly numerous problems involving dry friction (especially for metal/metal contact) as long as the numerical treatment is carefully effected (see experimental comparison [29]). It is clear that lubricated contact or problems involving very high temperatures will need more sophisticated laws. The Coulomb friction law is formulated:

NUMERICAL METHODS FOR FRICTIONAL CONTACT

$$|F_T| \leq \mu |F_N| \quad (4)$$

$$|F_T| < \mu |F_N| \Rightarrow \dot{u}_T = 0 \quad (5)$$

$$|F_T| = \mu |F_N| \Rightarrow \dot{u}_T = -\lambda F_T \quad \lambda \geq 0 \quad (6)$$

The dot denotes the time relative derivation, and μ is the friction coefficient.

Note 2 : the no-contact situation ($F_N = F_T = 0$) is well described because the colinearity condition (6) between \dot{u}_T and F_T (which is zero in this case) is then satisfied for any \dot{u}_T .

Note 3 : in the case of the unilateral conditions under consideration, the inequalities (3) enable us to replace $|F_N|$ by $-F_N$ in the relations (4)(5)(6).

Following Duvaut [2], this friction law can be written for static cases :

$$|F_T| \leq \mu |F_N| \quad (7)$$

$$|F_T| < \mu |F_N| \Rightarrow u_T = 0 \quad (8)$$

$$|F_T| = \mu |F_N| \Rightarrow u_T = -\lambda' F_T \quad \lambda' \geq 0 \quad (9)$$

From a mechanical point of view, the validity of this static model is very limited because friction is clearly a path dependant phenomena which has to be set on displacement velocities. Nevertheless, the numerical methods for solving this problem will be used in the resolution of the incremental problem derived from the general relations (4)(5)(6). So we first focus on the following static formulation :

Problem P1 :

Be given the loads $(\varphi_1, \varphi_2) \in (L^2(\Omega))^3 \times (L^2(\Gamma_2))^3$, the prescribed strain $e^0 \in (L^2(\Omega))^6$. Find the displacement $u \in (H_0^1(\Omega))^3 = \{v \in (H^1(\Omega))^3; v = 0 \text{ on } \Gamma_2\}$, the strain $e \in (L^2(\Omega))^6$, the stress $\sigma \in (L^2(\Omega))^6$, the contact force density $F \in (H^{-1/2}(\Gamma_2))^3$ such that :

$$e_{i,j} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i}) + e_{i,j}^0 \quad (10)$$

$$\sigma_{i,j,j} = -\varphi_{1,i} \text{ in } \Omega \quad (11)$$

$$\sigma_{i,j} n_j = \varphi_{2,i} \text{ on } \Gamma_2 \quad (12)$$

$$\sigma_{i,j} n_j = F_i \text{ on } \Gamma_3 \quad (13)$$

$$\sigma_{i,j} = K_{ijkl} e_{kl} \text{ in } \Omega \quad (14)$$

and verifying the unilateral conditions (2) and the friction relations (7)(8)(9). K_{ijkl} are the elasticity coefficients.

In other papers (Raous [4][5], Bouc and al. [6]), details can be found on the different choices of the functional scheme, the functional sets and the duality products which allow to set the problem under the following variational form :

Problème P2 : Let (φ_1, φ_2) and e^0 be given as in problem P1

Find $u \in K = \{v \in (H_0^1(\Omega))^3; v_N \leq 0 \text{ on } \Gamma_3\}$ such that :

$$\forall v \in K \quad a(u, v-u) - (f, v-u) + j(v, u) - j(u, u) \geq 0 \quad (15)$$

$$\text{with : } a(u, v) = \int_{\Omega} [Dv]^t K [Du] dx \quad (16)$$

$$(f, v) = \int_{\Omega} \varphi_1^t v dx + \int_{\Gamma_2} \varphi_2^t v d\gamma + \int_{\Omega} [Ke^0]^t [Dv] dx \quad (17)$$

$$j(u, v) = \int_{\Gamma_3} \mu |F_N(u)| |v_T| d\gamma \quad (18)$$

D is the symmetrical gradient mapping.

This problem is an implicit variational inequality because of the term $j(u, v)$ in which F_n depends on the solution. Though the convex cone K does not depend here on the solution, the nature of the problem is the same as that of a quasi-variational inequality. In fact, the dual formulation of problem P2 is a quasi-variational inequality: the unknown force density F_T is supposed to remain in the polar cone K^* depending on $\mu |F_n|$. Through a fixed point method on the sliding limit $\mu |F_n(u)|$, we get a more classical variational inequality (see Panagiotopoulos [7]). We thus introduce a Tresca's friction problem, the sliding limit function g defined on Γ_2 being the new variable.

Problem P3 : Find \bar{g} fixed point of the application $g \mapsto \mu |F_n(u)|$
where u is solution of the problem P4 depending on g

Problem P4 : Let (φ_1, φ_2) , e^0 be given as in problem P1. Let $g \in L^2(\Gamma_2)$.
find $u \in K$ such that :

$$\forall v \in K \quad a(u, v-u) - (f, v-u) + j(v) - j(u) \geq 0 \quad (19)$$

$$\text{where } j(v) = \int_{\Gamma_2} g |v_T| \, d\gamma \quad (20)$$

We now have to solve the variational inequality problem P4 including the undifferentiable term (20). Thanks to the symmetry of the bilinear form $a(\dots)$, we can write the problem P4 under the following equivalent minimization problem with constraints:

Problem P5 : Let (φ_1, φ_2) , e^0 and g be given as defined in problem P4.
Find $u \in K$ such that :

$$\forall v \in K \quad \mathfrak{F}(u) \leq \mathfrak{F}(v) \quad (21)$$

$$\text{with : } \mathfrak{F}(v) = \frac{1}{2} a(v, v) - (f, v) + j(v) \quad (22)$$

Note 4 : The Coulomb friction problem is solved through the intermediate resolution of a sequence of Tresca's problems. We would like to underline that a Tresca's model, alone, would not be adequate for a problem involving unilateral conditions: g needs to be equal to zero on the non contact parts (u_n strictly negative) and these parts are unknown a priori. Tresca's friction is adequate only in very simple cases where the contact area and the normal contact forces are known a priori.

Mathematical remarks

The existence and uniqueness of the solution of the Signorini problem have been proved by Fichera [8], Stampacchia [9] thanks to an extension of the Lax-Milgram theorem. The static Tresca problem or the Coulomb problem with a given F_n (see Duvaut [2]) also have a unique solution: they are not unilateral problems, the contact area is given. The existence and uniqueness for the unilateral problem including static Coulomb's friction (i.e. problem P2) are not proved. The difficulties arise from the fact that F_n which is unknown in this problem, belongs to $H^{-1/2}(\Gamma)$ (this leads to compactity problems...). In the other problems, this given force is chosen only in $L^2(\Gamma)$. Nevertheless on the regularized problem introduced by Duvaut [2], Oden-Pires [11], Cocu [12], existence is proved and unicity is obtained for small friction coefficients. This concerns a non local friction law (Duvaut defines F_n through a convolution with a smooth function with compact support).

NUMERICAL METHODS FOR FRICTIONAL CONTACT

3. MULTIBODY CONTACT PROBLEM (SEE [13])

Let A and B be two deformable solids occupying the open sets Ω^A and Ω^B . Boundary conditions are set on Γ_1^A and Γ_1^B , volumic force densities φ_1^A and φ_1^B are applied in Ω^A and Ω^B , surfacic force densities φ_2^A and φ_2^B are given on Γ_2^A and Γ_2^B . The contact areas are Γ_3^A and Γ_3^B . P and Q denote an opposite pair of points of Γ_3^A and Γ_3^B as described on figure 1. The unit vector n^A and n^B are still the external vectors to Γ_3^A and Γ_3^B .

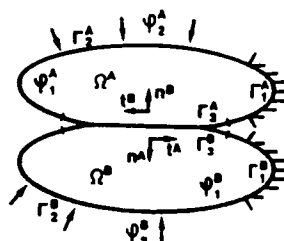


figure 1 : two body contact problem

Unilateral conditions

Under a small transformation hypothesis, we write the unilateral problem as:

$$u_n^A + u_n^B \leq 0, \quad F_n^A - F_n^B, \quad F_n^A \leq 0, \quad (u_n^A + u_n^B) \cdot F_n^A = 0 \quad (23)$$

We have shown in [16] that this problem is still a complementarity problem thanks to a convenient choice of the duality product between the trace spaces.

Friction condition

The static Coulomb friction law can be written :

$$F_T^A = F_T^B \quad (24)$$

$$|F_T^A| \leq \mu |F_n^A| \quad (25)$$

$$|F_T^A| < \mu |F_n^A| \Rightarrow u_T^A + u_T^B = 0 \quad (26)$$

$$|F_T^A| = \mu |F_n^A| \Rightarrow \exists \lambda > 0 \text{ such that } u_T^A + u_T^B = -\lambda F_T^A \quad (27)$$

This problem will be treated after discretization by a change of variable (see [13]). We will see in paragraph 7 the application to a multibody contact problem.

4. VARIATIONAL FORMULATION FOR QUASI-STATIC PROBLEMS

We first set the quasi-static problem using the general Coulomb friction law (4)(5)(6) (written in terms of rates of displacement) in the case of a given contact boundary (no unilateral conditions). For an evolutive problem, it is clear that friction is an irreversible phenomena which has to be written in terms of rates of displacement. It is a path dependant phenomena and the final solution does not depend only on the final force state but on all the intermediate states.

Problem P6 :

Be given the forces $(\varphi_1, \varphi_2) : [0, T] \rightarrow (L^2(\Omega))^3 \times (L^2(\Gamma_2))^3$, the thermal strain $\epsilon^0 : [0, T] \rightarrow (L^2(\Omega))^6$, find $u : [0, T] \rightarrow (H_0^1(\Omega))^3$ such that :
for $t = 0$ $u(0) = u_0$ be given in Ω
for $t \in]0, T]$ (10)(11)(12)(13)(14) and (4)(5)(6) be verified.

Restricting the dynamical formulation of Duvaut-Lions [2] to the quasi-static case, we remove the inertial terms and we get the following variational formulation.

Problem P7 :

(φ_1, φ_2) and e^0 be given as in problem P6, find $u(t) \in U = (H_0^1(\Omega))^3$ such that :
 for $t = 0$ $u(0) = u_0$ be given in Ω
 for $t \in]0, T]$ $\forall v \in U$ $a(u, v - \dot{u}) - f(v - \dot{u}) + j(v) - j(\dot{u}) \geq 0$

(28)

In view of the numerical resolution, we give now an incremental formulation by approximating the derivatives by finite differences. Let $(t_0, \dots, t_k, \dots, t_M)$ be a partition of the interval $[0, T]$, we get a forward finite difference approximation of \dot{u} by :

$$\dot{u}(t_{k+1}) = (u(t_{k+1}) - u(t_k)) / (t_{k+1} - t_k) \quad (29)$$

Substituting $u(t_k)$ by u^k and $f(t^k)$ by f^k and setting

$\Delta u^k = u^{k+1} - u^k$ and $\Delta t^k = t^{k+1} - t^k$, we write (28) under the following form :

$$a(u^k + \Delta u^k, v - \Delta u^k) - (f^k + \Delta f^k, v - \Delta u^k) + j(v) - j(\Delta u^k) \geq 0 \quad (30)$$

$$a(\Delta u^k, v - \Delta u^k) - (\Delta f^k, v - \Delta u^k) + j(v) - j(\Delta u^k) \geq -a(u^k, v - \Delta u^k) + (f^k, v - \Delta u^k) \quad (31)$$

The left part of the inequality (31) is connected to the equilibrium deflect R^k , i.e. the friction force at the previous time t_k .

$$-a(u^k, v - \Delta u^k) + (f^k, v - \Delta u^k) = (R^k, v - \Delta u^k) \quad (32)$$

So, we get a problem formally analogous to the static case one :

Problem P8 :

find $\Delta u^k \in U$ such that

$$\forall v \in U \quad a(\Delta u^k, v - \Delta u^k) - (R^k + \Delta f^k, v - \Delta u^k) + j(v) - j(\Delta u^k) \geq 0 \quad (33)$$

The non penetration condition corresponding to the initial unilateral problem is introduced by projecting Δu^k such as to assume :

$$u^k + \Delta u^k \leq 0 \quad (34)$$

Consequently, we have to solve problem P8 which is of the same form as the static problem P4. We note that we have for each step an extra load coming from the friction force of the previous step and that the projection is now different as shown in (34). We have to underline that the solution depends on the time increment size and that the equivalence with the initial problem occurs only for $\Delta t \rightarrow 0$. So, the time discretization has to be small, except if the loads are piecewise linear (which is often the case). In this case, we take one increment on each piece.

5. EXTENSION TO THE VISCOELASTICITY AND VISCOPLASTICITY CASES

We have shown in [14] how to set a viscoelasticity problem as a variational equation coupled to a differential equation. This form has been extended to contact problems both in viscoelasticity and viscoplasticity in [15] and [16]. These cases are often concerned with thermal effects as it has been set in Problem P1. We set :

Problem P9 :

Let the loads $f = (\varphi_1, \varphi_2)$, the prescribed strain e^0 be given, find u and Y such that:

$$u(0) = u_0$$

$$\forall v \in U \quad a(u, v - \dot{u}) - (f, v - \dot{u}) + \int_{\Omega} [KY]^e D(v - \dot{u}) dx + j(v) - j(\dot{u}) \geq 0 \quad (35)$$

$$\forall t \in]0, T] \quad \dot{Y} = F(Y, u, t) \quad (36)$$

NUMERICAL METHODS FOR FRICTIONAL CONTACT

For the viscoelasticity case, a Maxwell's model leads to the following form of the general form (36) where $Y = \xi$ is the viscous strain :

$$\dot{\xi} = \eta^{-1} K (Du + e^0 - \xi) \quad (37)$$

η and K are respectively the viscosity and the elasticity matrices characterised by the Young modulus E , the Poisson coefficient ν , and the relaxation times τ_c (cubic part) and τ_s (deviatoric part). Usually τ_c is taken infinite [14].

In viscoplasticity, we consider a Norton-Hoff law including isotropic and cinematic hardening introduced by Lemaitre-Chaboche (p.309 of [17]). In this case Y is a vector $(\bar{E}^p, X)^t$ where \bar{E}^p is the viscoplastic strain and X (which is a deviatoric part) characterises the hardening. (36) becomes :

$$\dot{\bar{E}}^p = 3/2 \dot{p}(\sigma' - X)/J \quad (38)$$

$$\dot{X} = 2/3 c(a\bar{E}^p - Xp) \quad (39)$$

where $\dot{p} = \langle (J-k)/\eta \rangle^n$ ($\langle \cdot \rangle$ means the positive part), σ' is the deviatoric part of $[K(Du + e^0 - \xi_p)]$, J is the second invariant of the deviatoric part of $(\sigma - X)$ and η, a, c, k, n are coefficients.

So we get a variational inequation problem coupled with a differential equation which is linear in viscoelasticity and strongly non linear in viscoplasticity. The first problem is a global relation whose resolution is presented in paragraph 6 and the second one will be solved locally element by element after the finite element discretization. Numerical methods for solving this differential equation problem are presented in [16][18][19][20]. Among the explicit and implicit methods which have been tested, the θ -method is our favorite.

6. NUMERICAL METHODS USED IN THE FINITE ELEMENT CODE PROTIS [21]

6.1. Relaxation method with projection (SORP)

We extend to the friction case the Successive Over Relaxation Method with Projection (SORP) introduced in [22][23] for the Signorini problem. A finite element discretization is done with linear elements P1 under the classical plane hypothesis (plane strain, plane stress or cylindrical symmetry). We have to underline that for the case of finite elements with a higher degree of approximation, the projection on the constraint convex is much more difficult and that this point is often neglected in the literature. The contact variables are treated in local normal tangential coordinates. The convenient rotations are done on the finite element matrix. The discrete problem associated to problem P5 is written :

Problem P10 :

Find $\bar{u} \in K^h \subset \mathbb{R}^{2N}$ such that :

$$J(u_1, u_2, \dots, u_{2N}) \leq J(v_1, v_2, \dots, v_{2N}) \quad \forall v \in K^h \quad (40)$$

\bar{u} is the displacement vector of components u_i ; $i=1, 2N$ N is the total node number

K^h is the approximate convex defined by $K^h = \prod_{i=1}^{2N} K_i$ with : $K_{2\alpha} = K_{2\alpha-1} = \mathbb{R}$ if $\alpha \in I^h$
 $K_{2\alpha-1} = \mathbb{R}$ if $\alpha \in I^h$
 $K_{2\alpha} = \mathbb{R}^-$ if $\alpha \in I^h$

I^h is the set of the indices of the contact nodes.

$$J(u_1, u_2, \dots, u_{2N}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{2N} \sum_{j=1}^{2N} a_{ij} u_i u_j + \sum_{i=1}^{2N} f_i u_i + \sum_{\alpha \in I_h} G_{2\alpha-1} |u_{2\alpha-1}| \quad (41)$$

$a_{ij} = a(\omega_i, \omega_j)$ is the general term of the elasticity finite element matrix $f_i = (f, \omega_i)$ where ω_i are the shape functions.

$$G_{2\alpha-1} = \int_{\Gamma_3} g \omega_{2\alpha-1} d\gamma$$

A punctual relaxation process defines the solution of problem P10 as the limit of the solutions u_i^{n+1} of the successive problems P11 set on one component after the other.

Problem P11 :

Find $u_i^{n+1} \in K_i$ such that for $i = 1, \dots, 2N$:

$$J(u_1^{n+1}, u_2^{n+1}, \dots, u_i^{n+1}, u_{i+1}^n, \dots, u_{2N}^n) \leq J(u_1^{n+1}, u_2^{n+1}, \dots, v, u_{i+1}^n, \dots, u_{2N}^n) \quad \forall v \in K_i \quad (42)$$

The convergence of the algorithm is given in [22] for this special form of the convex K^h for the Signorini problem.

The problem P11 is a pretty simple one dimensional minimization problem. According to the value of i , it will be one of the three following problems :

- if $i = 2\alpha$ or $i = 2\alpha-1$ with $\alpha \in I^h$: minimization on R of a quadratic functional (the last term of $J(u)$ in (41) is not present). An overrelaxation method is used.

$$u_i^{n+1/2} = \frac{1}{a_{ii}} \left(f_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} u_j^{n+1} - \sum_{j=i+1}^{2N} a_{ij} u_j^n \right) \quad (43)$$

$$u_i^{n+1} = (1-\omega)u_i^n + \omega u_i^{n+1/2} \quad (44)$$

ω is the relaxation coefficient. $\omega \in]0, 2[$

- if $i = 2\alpha$ with $\alpha \in I^h$ minimization on R of the same quadratic functional. The form (43) is still available and we introduce a projection on R in (44) which is replaced by:

$$u_i^{n+1} = \text{Proj}_R \left\{ (1-\omega)u_i^n + \omega u_i^{n+1/2} \right\} \quad (45)$$

- if $i = 2\alpha-1$ with $\alpha \in I^h$ minimization on R of the non differentiable functional (41) containing an absolute valor. As the problem is set on R it is easy to solve it by considering the two alternatives, the solution u_i^{n+1} to be positive or negative, and adding in (43) $\pm g$. The relaxation process (45) remains without projection.

Turning back to the complete problem P3, a fixed point method is used on the sliding limit g , i.e. on its discrete form \bar{G} , to insure the Coulomb relations to be true. Starting with \bar{G}^0 equal to zero (friction less case), the resolution of problem P10 gives the solution \bar{u}^k and the normal contact forces \bar{F}_n^k for the step k . The next \bar{G}^{k+1} is constructed by :

$$\bar{G}^{k+1} = \mu \left| \bar{F}_n^k \right| \quad (46)$$

The process involving a resolution of problem P10 for each step is stopped when the variation of \bar{G} in the sense of an euclidian norm is smaller than a given ϵ_1 (we usually take $\epsilon_1 = 0.1\%$). It is very important to note that \bar{F}_n^k is directly obtained as the residu of the minimization of (41) and that it is not computed from the stress solution which would give a very bad estimation. And so is \bar{G}^k .

NUMERICAL METHODS FOR FRICTIONAL CONTACT

Acceleration with a diagonal process.

In reality, the first updatings of \bar{G}^k are done after only a partial resolution of problem P10. The relaxation algorithm is stopped by a relative variation test on the current solution \bar{u}^k (Euclidian norm) which is asked to be lower than a coefficient ϵ_2 . This coefficient is large for the first iterations on \bar{G}^k ($\epsilon_2 \approx 10^{-1}$) and decreases, progressively when k increases, down to a final value of $.5 \cdot 10^{-3}$. Usually the number of iterations k on \bar{G}^k is lower than 10. This diagonal process is very efficient and reduces the resolution time in a proportion which may be of 3 or 4.

Condensation

In a lot of cases, the number of contact node M is small in front of the total number of nodes N . Then, it is interesting to reduce the size of the problem to the only contact variables which are concerned by the contact non linearities. Let us formally part the finite element matrix A (general term a_{ij}) as shown on fig. 2 :

A_{ff}	A_{fc}
A_{cf}	A_{cc}

figure 2 : the FEM matrix

The parts containing the indice c concern the contact variables. The initial problem can be set on $J^*(u)$ defined by :

$$J^*(\bar{u}_c) = \frac{1}{2} \bar{u}_c^t A_{cc}^* \bar{u}_c - \bar{f}^t \bar{u}_c - \bar{G}^t \left| \bar{u}_c \right| \quad (47)$$

where \bar{u}_c is the vector of the contact displacements

$$A_{cc}^* = A_{cc} - A_{cf} A_{ff}^{-1} A_{fc} \quad (48)$$

$$\bar{f}^* = - A_{ff}^{-1} A_{fc} \bar{f} \quad (49)$$

the inversion of A_{ff} is not necessary, the term $A_{ff}^{-1} A_{fc}$ is computed directly by 2M resolutions involving the matrix A_{ff} and the columns of A_{fc} as different second members. This is not expensive because the factorization of A_{ff} is effected only once. We have to underline that A_{cc}^* is now a full symmetrical matrix but its dimension is only 2M.

Matrix storage

For solving the complete problem without condensation a sparse matrix storage (or Morse storage) is used. This is very efficient for the Gauss-Seidel type method because no products by zero are done. (see table 4 in paragraph 8).

For solving the problem after condensation, a skyline storage is used because the computation of A_{cc}^* is done with a Cholesky variante method which is most efficient with this storage. In any case, the matrix A_{cc}^* is full.

Choice of the relaxation coefficient ω

There are no theoretical results on the optimum relaxation coefficient for the constrained problem. It depends on the number of constraints which are saturated on the final solution. We have experimentally observed that for the frictionless problem, this optimal coefficient remains close to the one of bilateral contact. For the unilateral problem with friction the sensitivity according to this coefficient is smaller (see [5]) and it is easier to get a convenient relaxation coefficient. The optimal values of ω are usually between 1.5 and 1.9.

To avoid the determination of the optimum coefficient ω , a Gauss-Seidel method accelerated by a Aitken procedure is actually developed [33].

6.2. Mathematical programming method (LENKE)

This kind of method is applied on the complementarity problem form (2) together with the relation between u_x and F_x given through the equilibriums and the constitutive equations. The method has been introduced by Lemke (see in reference [3]) for the Signorini problem and has been extended to the friction case by Klarbring [25]. It is used by Barbosa-Feijoo [26] both on contact problems and plasticity problems. It is a direct method which is an extension of the Simplex technics to a problem including constraints. An extension to the two body contact problem has been presented in Pinto-Raous [27]. This method is always used on the problem after condensation. Details of the method can be found in the previous references and the comparative efficiency is presented in the paragraph 8.

6.3. Fixed Point method on Boundary Conditions -FPBC- (see [28])

This method could be compared to a strong penalization method because of the use of the Irons coefficient to impose the boundary conditions.

It is an iterative method using the direct solution of a classical elasticity problem with a given state of the contact boundary. On this part, boundary conditions and given forces are introduced or removed for the next iteration according to a sequence of tests on the previous solution such as to avoid penetration, traction forces and to assume the relations (7)(8)(9).

The method works pretty well for frictionless problems but a few instabilities are observed for cases including friction. This method is very efficient for specific cases. We use it a lot for the study of cracked viscoplastic solids with large scale temperature variations. The (frictionless) unilateral problem is set by the conditions of non penetration of one edge of the crack on the other. Because of the non homogeneous temperature effects, the finite element matrix has to be assembled again from time to time. We do this updating of the matrix when we have to change the boundary conditions. So, in this case there is no need for extra computation to deal with unilateral contact because a new factorization has to be effected in any case.

7. APPLICATIONS

7.1. Contact of a long bar on a plane surface

This example and the next one have been treated by 6 different laboratories of the groupe 'Validation of computer code' of the GRECO 'Grandes Déformations et Endommagement'. This example has the advantage of being very elementary and that of giving different contact states according to the loadings and the friction coefficient values.

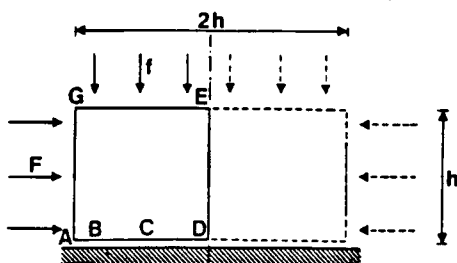


Fig.3 : the geometry ($h=40\text{mm}$)
and the loadings $N=230$ $M=32$

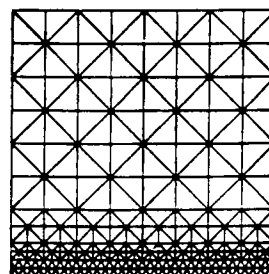


Fig.4 : the mesh

NUMERICAL METHODS FOR FRICTIONAL CONTACT

Constitutive law : plane strain elasticity $E=13000 \text{ daN/mm}^2$, $\nu=0.2$

Boundary conditions : $u_x=0$ on DE, $u_x=u_y=0$ at D.

Unilateral conditions with friction on the side AD : $\mu=0.2$ or $\mu=1$ (academic)

Loadings : force densities f and F are applied respectively on EG and GA.

Mesh : we use a 230 node mesh with 32 contact nodes $N=230$ $M=32$

Results : we give on the table 1, the length (and the number of nodes) of the separate part AB, the sliding part BC and the stick part CD for different choices of the loads f and F , and of the friction coefficient μ .

μ	F daN/mm ²	f daN/mm ²	Separate part AB mm	Sliding part BC mm	Stick part CD mm
1	10	-5	3.75 (3 nodes)	18.75 (15 nodes)	17.5 (15 nodes)
1	15	-5	3.75 (3 nodes)	26.25 (21 nodes)	10 (9 nodes)
0.2	10	-5	0	40 (32 nodes)	0
0.2	10	-15	0	23.75 (19 nodes)	16.25 (14 nodes)
0.2	10	-25	0	3.75 (3 nodes)	36.25 (30 nodes)

Table 1 : contact states for different loading cases

NODE	U_x	U_y	F_x	F_y	NODE	U_x	U_y	F_x	F_y
1	-0.5698E-3	0.1466E-1	0.	0.	50	0.	0.6662E-3	-6.994	-6.993
3	-0.2709E-3	0.1375E-1	0.	0.	65	0.	0.2432E-3	-7.503	-7.503
5	-0.4861E-4	0.1282E-1	0.	0.	69	0.	0.	-8.162	-7.602
6	0.	0.1180E-1	-1.157	-1.158	83	0.	0.	-8.595	-5.073
7	0.	0.1073E-1	-2.157	-2.156	87	0.	0.	-8.676	-4.332
13	0.	0.9679E-2	-2.834	-2.832	100	0.	0.	-8.750	-3.728
15	0.	0.8647E-2	-3.401	-3.399	115	0.	0.	-8.799	-3.226
16	0.	0.7647E-2	-3.871	-3.870	132	0.	0.	-8.865	-2.787
17	0.	0.6683E-2	-4.291	-4.290	150	0.	0.	-8.903	-2.410
27	0.	0.5757E-2	-4.657	-4.657	170	0.	0.	-8.943	-2.060
30	0.	0.4872E-2	-5.008	-5.008	191	0.	0.	-8.961	-1.727
31	0.	0.4031E-2	-5.329	-5.329	206	0.	0.	-8.995	-1.409
32	0.	0.3239E-2	-5.644	-5.645	214	0.	0.	-9.011	-1.114
45	0.	0.2497E-2	-5.948	-5.950	221	0.	0.	-9.035	-0.8269
48	0.	0.1815E-2	-6.269	-6.270	226	0.	0.	-9.044	-0.5424
49	0.	0.1199E-2	-6.608	-6.607	229	0.	0.	-9.074	-0.2599

Table 2 : displacements and forces for the contact nodes case $\mu=1$ $F=10$ $f=-5$

It can be observed on the table 2 that the relations (2) and (4)(5)(6) are verified with a very good accuracy.

7.2. A dovetail assembling (proposed by the CETIM-Paris).

This example is a two body contact problem with an oblique contact zone.

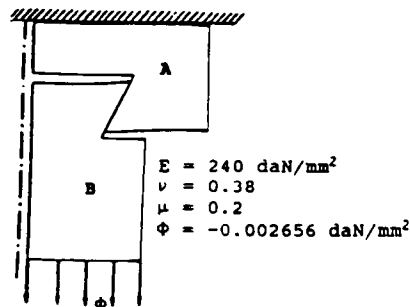
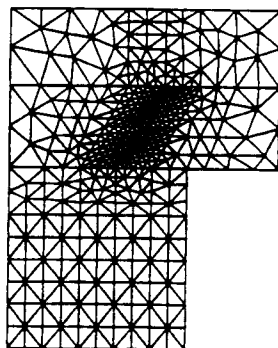
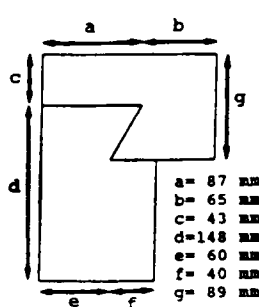


Fig. 5. : geometry
(plane stress hypothesis)
thickness = 6.4 mm

Fig. 6 : the mesh
N = 384
M = 38

Fig. 7. : displacements
(amplified twenty times)

characteristics $E = 240 \text{ daN/mm}^2$; $\nu = 0.38$; $\mu = 0.2$; $\phi = -0.002656 \text{ daN/mm}^2$

The nodal forces and the nodal displacements on the contact area for the corresponding nodes are given in the table 3.

NODE	U_x	U_y	F_x	F_y
130	0.1539	-0.2609	0.	0.
140	0.1502	-0.2570	0.	0.
156	0.1461	-0.2533	0.	0.
184	0.1412	-0.2499	-0.1046	0.0209
205	0.1361	-0.2466	-0.1656	0.0331
210	0.1308	-0.2435	-0.2070	0.0414
197	0.1255	-0.2406	-0.2361	0.0472
180	0.1200	-0.2379	-0.2619	0.0523
167	0.1145	-0.2353	-0.2786	0.0557
164	0.1087	-0.2329	-0.2960	0.0591
165	0.1030	-0.2305	-0.3072	0.0614
163	0.0971	-0.2282	-0.3171	0.0634
155	0.0906	-0.2260	-0.3168	0.0633
152	0.0838	-0.2239	-0.3120	0.0624
147	0.0763	-0.2219	-0.3059	0.0611
141	0.0684	-0.2200	-0.2915	0.0583
137	0.0595	-0.2185	-0.2630	0.0526
136	0.0501	-0.2173	-0.1985	0.0397
133	0.0394	-0.2169	-0.0828	0.0166

NODE	U_x	U_y	F_x	F_y
216	-0.1576	0.02889	0.	0.
217	-0.1518	0.02894	0.	0.
218	-0.1464	0.02882	0.	0.
220	-0.1412	0.02868	-0.1046	0.0209
221	-0.1361	0.02840	-0.1657	0.0331
223	-0.1308	0.02811	-0.2070	0.0414
226	-0.1255	0.02763	-0.2361	0.0471
229	-0.1200	0.02711	-0.2619	0.0523
231	-0.1145	0.02642	-0.2787	0.0558
230	-0.1087	0.02572	-0.2961	0.0589
232	-0.1030	0.02498	-0.3072	0.0614
239	-0.0971	0.02402	-0.3171	0.0634
244	-0.0906	0.02293	-0.3169	0.0633
250	-0.0838	0.02148	-0.3120	0.0624
256	-0.0763	0.01974	-0.3059	0.0611
264	-0.0684	0.01750	-0.2915	0.0583
276	-0.0595	0.01478	-0.2630	0.0526
288	-0.0501	0.01173	-0.1985	0.0397
303	-0.0394	0.00881	-0.0828	0.0166

Table 3 : solution on the contact area

The vertical displacements of the lower edge is -0.33mm (variation between -0.327 and -0.329).

7.3. The punch problem with loading and unloading

The specifications given by Curnier [32] are used. This example has the advantage of having some analytical results and uses loading history including unloading.

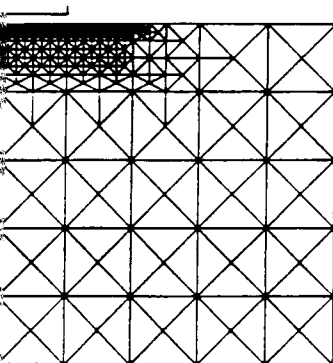


Fig. 8. The mesh
N=484 M=32

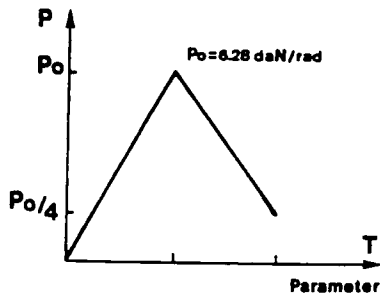


Fig. 9. Loading evolution

Elasticity under revolution symmetry hypothesis $E = 314 \text{ daN/mm}^2$, $\nu = 0$, $\mu = 0.4$.

On the figures 10 and 11, the variations of $F_T/\mu F_N$ along the radius of the punch are plotted. The sliding zones are characterized by the value 1 of this quotient. The other parts are stuck. On the figure 10, the comparison with a semi analytical solution gives an error of 7% : this is due to the weakness of the use of P1 elements for axisymmetrical problems. The figure 11 shows the solution after the unloading step. This complex solution involving three different zones (stick, inward-slip, outward-slip) has been reached with the same number of iterations than the first one (see table 4).

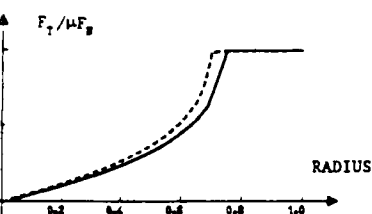


Fig. 10. : 1st step of the loading
— numerical solution
--- theoretical solution
(semi analytical)

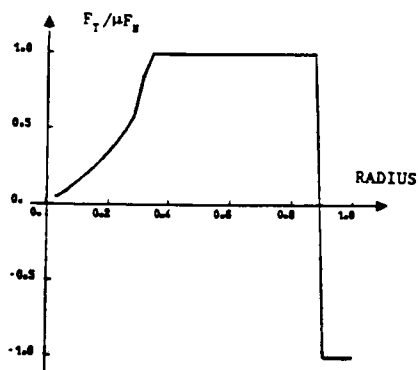


Fig. 11. : 2nd step of the loading

7.4. Structure assembling : bolted junction under internal pressure loading

This example deals with a real scale model on which experimental measurements have been done. This work has been supported by Technicatome (Les Milles - France). It is a four body contact problem including three contact areas with different friction coefficients. It is a three step loading : first the closure pressure is applied, then the pressure on the lower part and finally the pressure on the upper part. The displacements with an amplifier coefficient of 100 are given on the following figures (elasticity under revolution symmetry hypothesis). N=674, M=54.

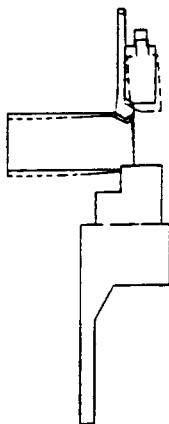


Fig.12 closure pressure

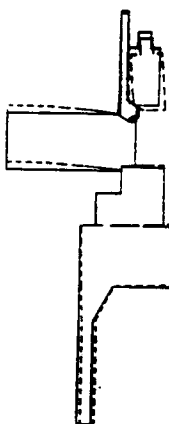


Fig.13. pressure on the lower part

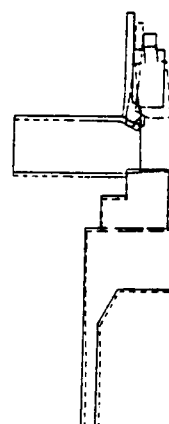


Fig.14. pressure on the upper part

An identification of the different friction coefficients has been done on the first loading step and the comparison between the numerical results and experimental datas for all the loading steps can be found in [29] and [30]. The errors are less than 15% on the most significant quantities.

7.5. Friction modelling for metal forming processes

We focus on the behaviour of the sheet metal under the blankholder during the stamping process. This study has been supported by Regienov (Paris-France). It is a very thin structure with a large number of contact nodes (N=784, M=251). Details about the results can be found in [31]. The following figure shows the evolution of the contact forces according to the increase of the tangential displacement Δ applied to the righthand extremity. The extension of the sliding area can be observed along with the good verification of Coulomb's law (F_t/μ is also plotted).

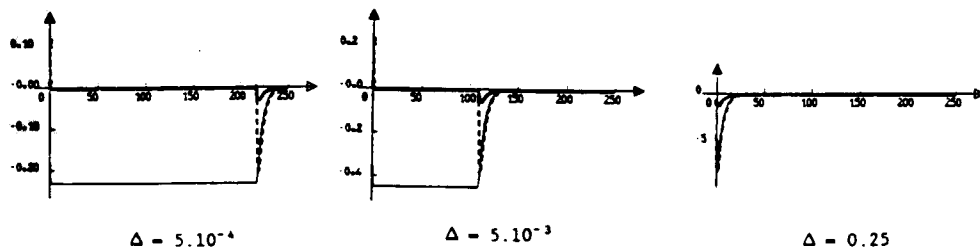


Fig.15. contact forces evolution

— normal force F_N — tangential force F_T --- quotient F_T/μ

7.6. Cracked viscoplastic solid under alternative loading

This example deals with the study of the progression of a crack in a structure submitted to high variations of temperature. The contact between the edges of the crack is frictionless. The viscoplastic law has been given in paragraph 6 (relations (38)(39)).

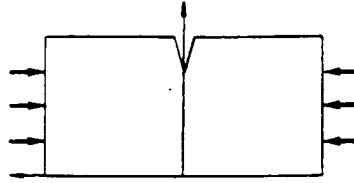


Fig.16. the structure (the loading is harmonic)

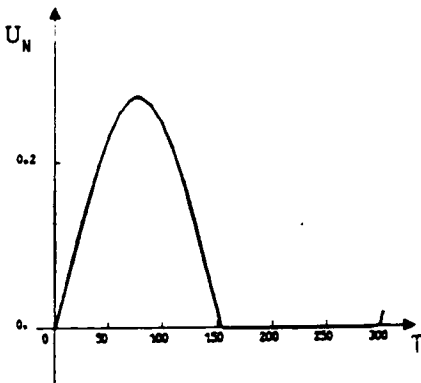


Fig.17. displacement of a contact node

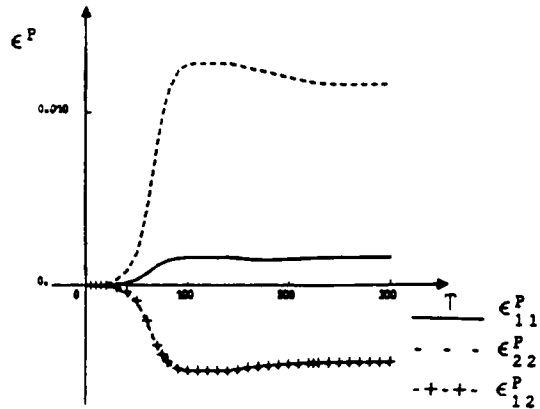


Fig.18. viscoplastic strain near the crack tip

The unilateral contact has been solved by the FPBC method described in paragraph 6.3 and the viscoplastic equations have been integrated by a Runge-Kutta method. Details can be found in [20].

8. COMPARATIVE COMPUTATIONAL TIMES

Computational times (on a Microvax II) corresponding to the examples referenced in paragraph 7 are presented in table 4. The methods are the ones presented in paragraph 6 either with a skyline storage or a Morse storage (sparse matrix storage), with or without condensation. To give an idea of the cost of a contact problem, the computational time for a close classical elasticity problem on the same mesh is given as a 'reference': the unilateral and friction conditions are replaced in this case by classical boundary conditions. The global number of iterations N_{soit} is given together with the number N_G of updating of \bar{G}^k .

Example		Method	N_{SORP}/N_C	Total time	Solver time
§ 7.1 with F=10 f=-5 N=230 M=32	Reference	Cholesky		20"	4"
	Frictionless $\mu=0$	SORP+Skyline ($\omega=1.88$)	90	1'49"	1'35"
		SORP+Morse ($\omega=1.88$)	90	1'34"	33"
		SORP+Skyline+Cond. ($\omega=1.74$)	30	1'21"	1.5"
		Lemke+Skyline+Cond.		1'10"	3"
		FPBC+Skyline	2	28"	8"
	Friction $\mu=0.2$	SORP+Skyline ($\omega=1.86$)	99/8	1'58"	1'44"
		SORP+Morse ($\omega=1.86$)	99/8	1'34"	36"
		SORP+Skyline+Cond. ($\omega=1.72$)	41/8	1'26"	2"
	Friction $\mu=1$	SORP+Skyline ($\omega=1.72$)	200/8	3'42"	3'28"
SORP+Morse ($\omega=1.72$)		200/8	2'13"	1'12"	
SORP+Skyline+Cond. ($\omega=1.67$)		101/10	1'30"	5"	
§ 7.2 N=384 M=38	Reference	Cholesky		47"	12"
	Frictionless $\mu=0$	SORP+Skyline+Cond. ($\omega=1.87$)	212	5'7"	15"
		Lemke+Skyline+Cond.		2'34"	7"
	Friction $\mu=0.2$	SORP+Skyline+Cond. ($\omega=1.58$)	505/9	8'59"	36"
§ 7.3 N=484 M=32	Reference	Cholesky		1'38"	13"
	1st. load. step	SORP+Skyline ($\omega=1.89$)	166/10	8'1"	6'33"
		SORP+Morse ($\omega=1.89$)	166/10	5'48"	56"
		SORP+Skyline+Cond. ($\omega=1.58$)	30/10	4'56"	1.5"
2nd. load. step	SORP+Skyline+Cond. ($\omega=1.58$)	30/10	4'60"	1.5"	
§ 7.4 N=674 M=54	Reference	Cholesky		1'26"	28"
	$\mu_1=0$ 1stload. step	Lemke+Skyline+Cond.		7'49"	30"
	1stload. step	SORP+Skyline+Cond. ($\omega=1.82$)	686/9		28'23"
	$\mu_1 \neq 0$ 2ndload. step	SORP+Skyline+Cond. ($\omega=1.82$)	669/9		27'27"
	3rdload. step	SORP+Skyline+cond. ($\omega=1.82$)	595/9	1h39'12"	24'27"
§ 7.5 N=754 M=251	Step of fig.12a	SORP+Morse ($\omega=1.90$)	742/151		8'32"
Step of fig.12b	SORP+Morse ($\omega=1.90$)	5472/1232		50'06"	
Step of fig.12c	SORP+Morse ($\omega=1.90$)	5931/1464	21h	55'20"	

Table 4. Computational times

In conclusion, we can note that it is important to have different solvers to treat unilateral problems with friction because the efficiency of each method depends on the nature of the problem. We can summarize this by a few remarks.

For frictionless problems, the Lemke algorithm with condensation and the FPBC seem to be the best ones.

Condensation is always suitable when the number M of contact nodes is small compared to the total number of nodes N . The only exception is when the finite element matrix changes (in case of thermal effects for example) because in such a case the computation of A'_{cc} (see(48)) has to be done again and it will be costly.

When the number of contact nodes is large a Successive OverRelaxation method with Projection using a sparse matrix storage (Morse) is more adequate. The example 7.5 is pretty stiff because the solution includes a part of the boundary where the contact is associated to a very small compression force. Before convergence is reached the numerical

solution oscillates between two states ($u_n = \epsilon'$, $F_n = 0$ - no contact) and ($u_n = 0$, $F_n = \epsilon''$ - contact with small compression) where ϵ' and ϵ'' are two little negative quantities.

Condensation is very important for the multibody contact problems because the initial matrix is ill conditioned due to the connection relations between the different solids which have been meshed separately.

Acknowledgements.

Partial support for the developments described here has been provided by Technicatome (Les Milles-France) and Regenov (Rueil-Malmaison-France) which are gratefully acknowledged.

References :

- [1] Cottle R.W., Gianessi F., Lions J.L. (editors) 'Variational Inequalities and Complementarity Problems'. John Wiley, 1979.
- [2] Duvaut G., Lions J.L. 'Les inéquations en Mécanique et en Physique', Dunod Paris, 1972.
- [3] Balinski M.L., Cottle R.W. 'Complementarity and Fixed Point Problems', Mathematical Programming Study, North Holland, 1978.
- [4] Raous M., 'On two variational inequalities arising from a periodic viscoelastic unilateral problem', in [1], ch.19, 285-302.
- [5] Raous M., Latil J.C., 'Code d'éléments finis pour des problèmes de contact avec frottement formulés en termes d'inéquations variationnelles', in [24], 259-278.
- [6] Bouc R., Geymonat G., Jean M., Nayroles B., 'Cauchy and periodic unilateral problems for aging linear viscoelastic materials', J.Math.Anal.App., 61, n°1.7, 1977.
- [7] Panagiotopoulos P.D., 'Inequality problems in Mechanics and Applications', Birkhäuser, Stuttgart, 1985.
- [8] Fichera G., 'Boundary Value Problems of Elasticity with unilateral Constraints' pp. 391-424, in Encyclopedia of Physics, VIa/2, Springer-Verlag, Berlin, 1972.
- [9] Stampacchia G., 'On a problem of numerical analysis connected with the theory of variational inequalities', Symposia Math., 10, 281-293, 1972.
- [10] Duvaut G., 'Equilibre d'un solide élastique avec contact unilatéral et frottement de Coulomb', CRAS, série A, 290, 263-265, 1980.
- [11] Oden J.T., Pires E.B., 'Non local and nonlinear friction laws and variational principles for contact problems in elasticity', J.Appl.Mech., 50, 1, 67-76, 1983.
- [12] Cocu M., 'Existence of solutions of Signorini's problem with friction', Int. J. Engng. Sci., 22, 5, 567-575, 1984.
- [13] Raous M., Pinto Y., 'Direct and iterative methods for two body contact problems', 547-550 in Proceed. 9th COBEM, Florianopolis, Brésil, 7-11 December 1986.
- [14] Raous M., 'A periodic problem in Viscoelasticity with variable coefficients' Int.J.Engn. Sci., 19, 1145-1168, 1981.
- [15] Raous M., 'Contacts unilatéraux avec frottement en viscoélasticité', 269-297 in 'Unilateral Problems in Structural Analysis', Publ. CISM n°288, Springer-Verlag Vienne, 1985.
- [16] Raous M., 'Comportement d'un solide fissuré sous charges alternatives en viscoplasticité', J.Mec. Theor. Appl., n° spécial, 1984.
- [17] Lemaitre J., Chaboche J.L., 'Mécanique des Matériaux', Dunod, Paris, 1985.
- [18] Chabrand P., 'Grandes variations de température pour des corps viscoélastiques' Thèse, Univ. de Provence, 1984.
- [19] Chabrand P., Licht C., Maisonneuve O., Raous M., 'Residual Thermal Tempering Stresses', to appear in 'Computer and Structures'.

- [20] Chabrand P., Ghazouane M., 'Unilateral problem for cracked viscoelastic or viscoplastic solids', Proc. FEMCAD, Paris, 17-19 Octobre 1988.
- [21] Latil J.C., 'Notice du code d'éléments finis PROTIS', Note interne LMA n°2188 Marseille, France.
- [22] Glowinski R., Lions J.L., Trémolières R., 'Analyse numérique des Inéquations Variationnelles', Dunod, Paris, 1976.
- [23] Cryer C.W., 'The solution of a quadratic programming problem using systematic overrelaxation', SIAM J. Control, 9, 385-392, 1971.
- [24] Del Piero G., Maceri F. (editors), 'Unilateral problem in Structural Analysis', Ed. CISM, n° 304, Springer Verlag, Vienne, 1988.
- [25] Klarbring A., 'Contact problems with frictions by linear complementarity', 197-220, in [24].
- [26] Barbosa H.J.C., Feijoo R.A., 'A numerical algorithm for Signorini's problem with Coulomb friction', 33-46, in [24].
- [27] Pinto Y., Raous M., 'Direct Mathematical Programming method for the contact between two deformable solids', ICIAM-87, Paris, 29 Juin - 3 Juillet 1987.
- [28] Chabrand P., Raous M., 'A model for opening and closing cracks in oligocyclic fatigue', 133-146, in Proc. SIBRAT-86, Salvador, Brésil, October 28-31, 1986.
- [29] Lebon F., Raous M., Boulègues D., 'Contact with friction modelling for the study of a bolted junction', 3-8, Vol. A, in Proc. SMIRT-9, Lausanne (Suisse), 17-21 Août 1987.
- [30] Lebon F., Raous M., 'Behaviour of a bolted junction under internal pressure loading', 195-204, in Proc. NUCMAT 88, Nice (France), 22-24 Juin 1988.
- [31] Chabrand P., Pinto Y., Raous M., 'Numerical modelling of friction for metal forming processes', 93-99, in Proc. Euromech 223 : "Modelling of metal forming processes" Sophia-Antipolis, France, 29-31 Août 1988.
- [32] Curnier A., Alart P., 'A generalized Newton Method for contact problems with friction', in this Journal.
- [33] Barbosa H., Raous M., Aitken acceleration for frictional contact algorithms, in preparation.

III - OPTIONS DE PRISE EN COMPTE DES DONNEES

La description des conditions aux limites de type Dirichlet fait appel au module COBDC1 et conduit à une S.D. BDCL, mais à l'intérieur d'un module de traitement particulier de nom CONSBL.

La caractérisation du contact/frottement est le travail d'un module de nom CONFRO dont le résultat du travail est une S.D. nouvelle : CTFR.

Enfin, la description des chargements surfaciques se fait par l'intermédiaire du module ELAST et conduit à une S.D. B, mais à l'intérieur d'un module de traitement particulier de nom COSECM.

Comme on le verra ci-après, un noeud de contact appartient à une portion de frontière dite de contact et est affecté de la référence de cette portion de frontière. Il est traité dans son repère local (normale, tangente), où la normale est la normale extérieure à la frontière en ce noeud.

Pour chaque noeud de contact, il y a donc changement de base, du repère global (\vec{x}, \vec{y}) au repère local (\vec{n}, \vec{t}) . Il arrive souvent qu'un noeud référencé de contact (bord de la portion de frontière de cette référence) ait sa composante normale de contact et sa composante tangentielle, non pas de frottement, mais bloquée en conditions aux limites ou bien chargée par une force nodale. Ceci nécessite que l'on admette des "dérogations" au principe qui veut qu'une référence corresponde à une fonction unique et c'est ce qui motive le traitement particulier des descriptions de conditions aux limites ou de chargements, lequel particularisme étant, comme on le verra, fort peu important du point de vue de l'utilisateur.

Spécificités des données relatives au contact et frottement :

Tout au long de la procédure éléments finis, un noeud déclaré de contact est donc traité dans son repère local (\vec{n}, \vec{t}) . On est notamment amené, en cours de résolution, à contrôler son déplacement normal u_n et sa force tangentielle F_t (seuil de glissement). La caractéristique prise en compte au niveau des données est l'angle (\vec{Ox}, \vec{n}) entre l'axe global des x et la normale à la frontière. Il s'ensuit qu'un certain nombre de noeuds de contact (et bien souvent tous...), présentant le même angle (\vec{Ox}, \vec{n}) sont traités de la même façon.

Au niveau du maillage, on admet de donner le même numéro de référence à tous les noeuds de contact présentant le même angle (\vec{Ox}, \vec{n}) : ceci caractérise une portion de frontière de contact. A ce principe, cependant, deux restrictions :

- si on traite d'une portion de frontière parfaitement courbe (mais la discrétisation est en Pl droits...), alors chaque noeud de contact constitue en lui même une portion de frontière de contact. C'est un cas théorique non validé.
- si le problème admet du frottement, le coefficient de frottement doit être le même pour tous les noeuds d'une même portion de frontière de contact avec frottement. Si tel n'était pas le cas, il y aurait lieu de donner la priorité à la valeur uniforme du coefficient de frottement par rapport à la valeur uniforme des angles (\vec{Ox}, \vec{n}) , c'est à dire de distinguer plusieurs portions de frontière ayant le même angle (\vec{Ox}, \vec{n}) .

La formulation d'un problème de condition unilatérale conduit à imposer des déplacements normaux $u_n \leq 0$. Le traitement standard doit donc ne prendre en compte que des déplacements nuls (contact sur l'obstacle) ou négatifs (décollement de l'obstacle). On admet cependant ici la possibilité de prendre en compte des déplacements $u_n > 0$, dans une limite acceptable ce qui, d'une certaine façon, assimile le problème de contact à un problème de conditions aux limites décrites par déplacements imposés non nuls (aussi bien négatifs, d'ailleurs).

Ceci permet de traiter des cas de contact sur un obstacle fixe non uniforme, "en escalier" par exemple, vis à vis d'une portion de frontière de contact déterminée. C'est pourquoi les données comportent la définition des valeurs des u_n admis par portion de frontière de contact et offrent la possibilité de décrire un certain nombre de u_n différents pour une portion de frontière donnée.

IV - MODULE INTERACTIF GYPTXX

Le module interactif GYPTXX a pour but essentiel de constituer le fichier de données nécessaire à la résolution d'un problème de contact. Il permet également d'effectuer cette résolution en interactif, avec sortie des résultats sur écran, conformément au fonctionnement habituel des modules interactifs de MODULEF. Il semble cependant plus sage, sauf pour des tests de peu d'envergure, de faire exécuter ensuite GYPTIS dans la file des traitements par lots.

L'utilisation de GYPTXX ne demande que peu de connaissance des spécificités de GYPTIS, car il pose des questions aussi courtes et claires que possible. En cas d'hésitation, l'utilisateur peut toujours répondre par un point d'interrogation (?), ce qui entraîne la production d'une explication détaillée, après quoi la question est à nouveau posée. Une erreur de type Fortran de donnée entraîne seulement une demande de reformulation de la réponse.

V - MODULE GYPTIS : MISE EN OEUVRE

Pour résoudre un problème de contact avec frottement déterminé, l'utilisation de GYPTIS suppose :

- d'avoir réalisé le maillage :
le pas (distance entre deux noeuds consécutifs) doit être constant pour les noeuds de contact, faute de quoi les calculs de forces normales et tangentielles à la solution seraient erronés,
- d'avoir constitué le fichier de données correspondant, en faisant appel au module GYPTXX,
- d'attacher au travail :
 - le fichier de données, à l'étiquette logique prévue à cet effet,
 - le fichier imprimante, à l'étiquette logique prévue à cet effet,
 - éventuellement (problème à symétrie de révolution, éléments TRIA AP1D au lieu de TRIA 2P1D), le fichier POBA à l'étiquette logique 1,
- de lancer l'exécution.

Par principe, GYPTIS n'admet l'existence que de la S.D. NOPO du maillage du domaine. Il construit toutes les autres S.D. dont il a besoin et, à la fin, les détruit sauf si on a manifesté la volonté de les conserver (logique SERVAR, en données). Bien entendu, la S.D. B contenant les déplacements et la S.D. TAE des contraintes, utilisables pour l'exploitation graphique sont systématiquement conservées.

VI - DESCRIPTION DETAILLEE DES DONNEES

Données générales :

- 1 Si l'on ne travaille pas en interactif, aller à (1)

- 0 NODATA (78 caractères)
Nom du fichier des données, question posée à l'écran.

- 1 TITRE (80 caractères)
Titre donné au travail.

- 2 IMPRE (entier ≥ 0)
Niveau de bavardage, correspondant aux conventions MODULEF. En séquence de mise au point, on peut donner :
IMPRE = 11 , ce qui permet d'avoir une trace de chaque manipulation de S.D.,
IMPRE = 12 , ce qui fournit en plus le contenu du tableau de sauvegarde du commun pour chaque S.D. manipulée.

- 3 NOMGEN (6 caractères)
Nom générique qui permet de déterminer les noms de tous les fichiers des S.D. traitées, sauf la S.D. NOPO. Principe : pour la S.D. TOTO, on aura un nom de fichier : **NOMGEN//TOTO.DAT**.

- 4 SERVAR (logique)
Vrai si l'on désire conserver toutes les S.D. créées par le travail. Sinon, une fois le travail fini, ne subsisteront que :
 - la S.D. NOPO du maillage,
 - la S.D. B des déplacements solutions (NOMGEN//BS.DAT')
 - la S.D. TAE des contraintes à la solution (NOMGEN//TAES.DAT')

- 5 NOM_NOPO (72 caractères)
Nom du fichier de la S.D. NOPO du maillage.

- 6 AXISYM (logique)
Vrai si l'on traite un problème à symétrie de révolution (les éléments sont alors des AP1D).

- 19 Si $\text{NBNDDBL} \leq 0$, aller à (21)
- 20 Boucle sur $I = 1, \text{NBNDDBL}$:
- NUNOD(I) (entier) : I-ième de ces noeuds.
- VBNNN(1,I) (réel s.-p.) : son déplacement imposé en x (*).
- VBNNN(2,I) (réel s.-p.) : son déplacement imposé en y (*).
- Fin de boucle
- (*) Si l'un des déplacements imposés n'a pas de sens (équation libre ou bien déplacement déjà correctement défini), lui attribuer ici une valeur : $u_i \geq 1.E+15$.

Description du contact et du frottement :

- 21 CDUNIL (logique)
Vrai si l'on traite un problème de contact.
- 22 Si CDUNIL est faux, aller à (41)
- 23 NBZC (entier)
Nombre de portions de frontière de contact. Une portion de frontière de contact est caractérisée par un numéro de référence du maillage. Elle regroupe tous les noeuds de contact qui présentent le même angle (\vec{OX}, \vec{n}) et, s'il y a du frottement, le même coefficient de frottement.
- 24 (NUREFC(I), I=1, NBZC) (tableau entier)
Liste des NBZC numéros de référence des portions de frontière de contact.
- 25 MANQUE (logique)
Vrai s'il existe des noeuds de contact définis isolément, c'est à dire en dehors des références ci-dessus.
- 26 Si MANQUE est faux, aller à (29)
- 27 NBNDNR (entier)
Nombre des noeuds de contact définis hors références. Chacun de ces noeuds doit être extrémité d'une arête référencée de contact et prendra la même référence.
- 28 (NUNODC(I), I=1, NBNDNR) (tableau entier)
Liste des numéros de ces NBNDNR noeuds.
- 29 (TRIGOG(I), I=1, NBZC) (tableau réel s.-p.)
Liste, dans l'ordre adopté en (24), des valeurs en degrés des angles (\vec{OX}, \vec{n}) par portions de frontière de contact.

- 30 (TVCU(I), I=1, NBZC) (tableau réel s.-p.)
 Liste, dans l'ordre adopté en (24), des valeurs limites VCU des déplacements normaux u_n admis, par portions de frontière de contact. Si, pour une portion de frontière, on désire adopter des valeurs VCU "en escalier", on donne pour cette k-ième portion de frontière :
 $TVCU(k) = VCU \geq 1.E+15$.
- 31 Admettons qu'il y ait NBZ valeurs $TVCU(k) \geq 1.E+15$:
 Si NBZ = 0, aller à (33)
- 32 Boucle sur I = 1, NBZ :
 NBGR(I) (entier) : nombre de valeurs différentes de VCU sur la portion de frontière.
 Boucle sur J = 1, NBGR :
 NBNOD(I, J) (entier) : nombre de noeuds soumis à la même J-ième valeur VCU.
 VCULOC(I, J) (réel s.-p.) : valeur VCU de ce groupe de noeuds.
 Fin de boucle
 Fin de boucle
- 33 NBZF (entier tel que $NBZF \leq NBZC$)
 Nombre des portions de frontière de contact qui sont de frottement.
- 34 Si $NBZF \leq 0$, aller à (41)
- 35 Si $NBZF = NBZC$, aller à (37)
- 36 (CONOFR(I), I=1, NBZC-NBZF) (tableau entier)
 Liste des numéros de référence de contact qui ne sont pas de frottement.
- 37 (XMU(I), I=1, NBZF) (tableau réel)
 Liste des coefficients de frottement respectifs dans l'ordre adopté en (24), en ne tenant pas compte éventuellement des références de contact qui ne sont pas de frottement.
- 38 CIFR (entier)
 Indicateur de la loi de frottement adoptée. En principe $CIFR \leq 0$ conduit à prendre des seuils de glissement initiaux nuls et à les réactualiser (algorithme diagonal) en cours de résolution : c'est la loi de Coulomb.
 Si $CIFR > 0$, on admet des seuils de glissement initiaux donnés, non réactualisés : c'est du frottement de Tresca.
- 39 Si $CIFR \leq 0$, aller à (41)

- 40 (G(I), I=1, NBNF) (tableau réel s.-p.)
 où NBNF est le nombre total de noeuds de contact avec frottement.
 Les seuils de glissement initiaux G(I) doivent être donnés portion de frontière par portion de frontière, dans l'ordre adopté en (24). Pour chaque portion de frontière, on peut donner une valeur commune à tous les seuils de glissement, ou bien donner les seuils noeud par noeud dans l'ordre où se présentent les noeuds.
 Pour une portion de frontière de frottement donnée, l'ordre des noeuds va du "premier" au "dernier", le premier étant toujours celui de plus faibles coordonnées.

Caractéristiques des matériaux :

- 41 Si AXISYM est vrai (voir enregistrement 6), aller à (43)
- 42 NOPTIO (entier)
 Indicateur de l'hypothèse élastique retenue :
 NOPTIO = 1 , problème de contraintes planes,
 NOPTIO = 2 , problème de déformations planes,
 Si AXISYM est vrai , problème à symétrie de révolution.
- 43 Boucle sur I = 1, NMAT
 E(I) (réel s.-p.) : module d'Young du I-ième matériau.
 NU(I) (réel s.-p.) : son coefficient de Poisson.
 Fin de boucle
 où NMAT = NDSD est le nombre de sous-domaines décrits ou de matériaux.

Description des chargements surfaciques :

- 44 CHFRON (logique)
 Vrai si l'on définit des chargements frontali-
 ers par densités de forces par numéros de ré-
 férences (on peut aussi les définir au choix
 dans le sous-programme SMINIT à pourvoir).
- 45 Si CHFRON est faux, aller à (49)
- 46 NBFRON (entier)
 Nombre des numéros de référence des portions de
 frontière supportant des densités de forces.
- 47 (NUREFD(I), I=1, NBFRON) (tableau entier)
 Liste des numéros de référence des portions de
 frontière supportant des densités de forces.

- 48 Boucle sur $I = 1, \text{NBFRON} :$
 LOXN(I) (logique) : vrai si le chargement est
 exprimé dans le repère glo-
 bal (\bar{x}, \bar{y}) , faux s'il est
 exprimé dans le repère (\bar{n}, \bar{t})
 commun aux noeuds de la por-
 tion de frontière.
 DF(1,I) (réel s.-p.) : densité de charge en x ou n.
 DF(2,I) (réel s.-p.) : densité de charge en y ou t.
 Fin de boucle
 Les NBFRON portions de frontière doivent être décrites
 dans l'ordre adopté en (47).
- 49 l'utilisateur peut définir comme il l'entend des charge-
 ments nodaux dans le sous-programme SMINIT. S'il fait
 lire des données pour cela , c'est ici qu'elles ont leur
 place.

Choix de la méthode d'assemblage :

- 50 PROF (logique)
 Vrai si l'on demande un assemblage profil,
 seule possibilité dans la version 1.0.

Données de la résolution :

- 51 IRESOL (entier)
 Indicateur du choix de la méthode de résolu-
 tion :
 IRESOL = 0 : Crout L^*D*L^t (sans contact),
 IRESOL = 1 : Gauss-Seidel surrelaxé projeté,
 IRESOL = 3 : Gauss-Seidel surrelaxé projeté et
 contact/frottement condensé.
- 52 Si IRESOL = 0 , aller à (63)
- 53 OMEGA (réel s.-p.)
 Valeur du coefficient de surrelaxation. Pour
 réaliser une recherche du coefficient optimum,
 donner ici une valeur de OMEGA < 0.
- 54 EPS (réel s.-p.)
 Tolérance sur la convergence : c'est la varia-
 tion du vecteur solution entre deux itérations
 de Gauss-Seidel admise comme zéro. En règle gé-
 nérale, une valeur EPS = .5E-05 est tout à fait
 satisfaisante.

- 55 MITER (entier)
 Quand $MITER \leq 0$, si NOE représente le nombre de
 noeuds du maillage, le nombre minimum d'itéra-
 tions de Gauss-Seidel est fixé à $NOE/2$ et le
 nombre maximum est fixé à $3*NOE$.
 Dans certains cas, ce cadre n'est pas suffisant
 et on donne alors $MITER > 0$ qui provoque la de-
 mande de fixation des nombres limites d'itéra-
 tions par l'utilisateur.
- 56 Si $MITER \leq 0$, aller à (59)
- 57 MINITR (entier)
 Nombre minimum d'itérations imposé.
- 58 MAXITR (entier)
 Nombre maximum d'itérations imposé.
- 59 Si $OMEGA > 0.$, aller à (63)
- 60 ISR (entier)
 On a demandé, par l'intermédiaire d'une valeur
 $OMEGA < 0.$, la recherche de $OMEGA$ optimum.
 Alors, ISR est le nombre de valeurs de $OMEGA$ à
 tester.
- 61 OMEGA1 (réel s.-p.)
 est la plus faible valeur de $OMEGA$ à tester.
- 62 OMEGA2 (réel s.-p.)
 est la plus forte valeur de $OMEGA$ à tester.
- 63 IMPCON (logique)
 Vrai si l'on désire faire imprimer des con-
 traintes.
- 64 Si $IMPCON$ est faux, aller à (68)
- 65 LINDIC (entier)
 Nombre des valeurs de contraintes élémentaires
 à faire imprimer : si $LINDIC \leq 0$, toutes les
 contraintes seront imprimées.
- 66 Si $LINDIC \leq 0$, aller à (68)
- 67 (INDIC(I), I=1, LINDIC) (tableau entier)
 Numéros des $LINDIC$ éléments pour lesquels on
 veut faire imprimer les contraintes.
- 68 FIN

VII - LA STRUCTURE DE DONNEES CTFR

Cette structure de données conserve les paramètres et tableaux qui caractérisent dans GYPTIS le contact et le frottement. Tous ses tableaux résident simultanément en mémoire centrale. Il faut noter que GYPTIS est pourvu d'utilitaires de chargement/déchargement avec ou sans sauvegarde de S.D. repérées seulement par leur numéro d'ordre (voir chapitre VIII) qui permettent de ne pas conserver en M.C. une S.D. au moment où elle n'y est pas utile.

Commun associé :

```
COMMON /ALCTFR/ NECTFR,NCTF0,IACF0,LCTF0,NCTF1,IACF1,LCTF1,
.              NCTF2,IACF2,LCTF2,NCTF3,IACF3,LCTF3,
.              NCTF4,IACF4,LCTF4,NCTF5,IACF5,LCTF5,
.              NCTF6,IACF6,LCTF6,NCTF7,IACF7,LCTF7,
.              NCTF8,IACF8,LCTF8,NCTF9,IACF9,LCTF9,
.              NCTFA,IACFA,LCTFA,NCTFB,IACFB,LCTFB,
.              NCTFC,IACFC,LCTFC,NCTFD,IACFD,LCTFD
```

Le tableau de sauvegarde NCCTFR a donc une longueur
LCCTFR = 43 mots.

Tableaux de la S.D. CTFR :

Tableau CTF0 : LCTF0 = 32 mots, type entier,
 tableau normalisé.

Tableau CTF1 : LCTF1 = 22*NTCTFR, type entier,
 tableau normalisé.

Tableau CTF2 : LCTF2 = 12 mots, type entier.

Nombre de noeuds de contact	NBNC (1)
Nombre de portions de frontière de contact	NBZC (2)
Nombre de portions de frontière du type contact de deux solides déformables	NBZCS (3)
Nombre de noeuds de frottement	NBNF (4)
Nombre de portions de frontière de frottement	NBZF (5)
Existence (1) ou non (0) de portions de frontière de contact de deux solides déformables	CDUNS (6)

Existence (1) ou non (0) de frottement	CDFROT	(7)
Frottement de Coulomb (1) ou Tresca (0)	ACTGFR	(8)
Existence (1) ou non (0) de "conditions mixtes" c.a.d. de noeuds à la fois de contact et de conditions aux limites	MIXBLR	(9)
Nombre de noeuds du maillage	NOE	(10)
Nombre max de noeuds d'un élément	MNNO	(11)
Nombre max de mots nécessaires au stockage des références d'un élément	MNMAE	(12)

Tableau CTF3 : LCTF3 = 2*NBNC, type entier.

Tableau [NNCV(2,NBNC)] des couples :
 Numéro du noeud (ligne 1) <---> Référence (ligne 2)
 pour tous les noeuds de contact. Dans ce tableau, les noeuds de contact sont rangés par portion de frontière et dans chaque portion de frontière, dans leur ordre effectif du maillage (le premier est celui qui présente le plus petit couple de coordonnées).

Tableau CTF4 : LCTF4 = 8*NBZC, type double précision.

Tableau [TRIGOG(4,NBZC)] dans lequel chaque colonne représente une portion de frontière de contact. Pour la I-ième colonne ($1 \leq I \leq \text{NBZC}$) :

TRIGOG(1,I) : valeur en degrés de l'angle (\vec{OX}, \vec{n}).

TRIGOG(2,I) : valeur de son sinus.

TRIGOG(3,I) : valeur de son cosinus.

TRIGOG(4,I) : valeur du produit sinus * cosinus.

Tableau CTF5 : LCTF5 = 2*NBZC, type entier.

Tableau [NBNZA(2,NBZC)] dans lequel chaque colonne représente une portion de frontière de contact. Pour la I-ième colonne :

NBNZA(1,I) : nombre de noeuds de contact.

NBNZA(2,I) : nombre de noeuds de frottement.

Tableau CTF6 : LCTF6 = 2*NBNC, type entier.

Tableau [IDNC(2,NBNC)] des couples :

Numéro du noeud (ligne 1) <---> Référence (ligne 2)
 pour tous les noeuds de contact. Le contenu est le même que celui du tableau CTF3, mais ici les noeuds sont rangés globalement dans l'ordre croissant de la numérotation.

Tableau CTF7 : LCTF7 = 2*NBNC, type double précision.

Tableau [TVCU(NBNC)] des valeurs limites admises pour les déplacements normaux des noeuds de contact rangés globalement dans l'ordre croissant de la numérotation.

Tableau CTF8 : LCTF8 = 2*NBZC, type entier.

Tableau [NBORD(2,NBZC)] dans lequel chaque colonne représente une portion de frontière de contact. Alors pour la I-ième colonne :

NBORD(1,I) : situation de bord du premier noeud.

NBORD(2,I) : situation de bord du dernier noeud.

Là encore, le premier noeud d'une portion de frontière de contact est celui qui présente le plus petit couple de coordonnées. Caractériser la "situation de bord" consiste à reconnaître si un noeud extrémité est suivi vers l'extérieur par une arête référencée de contact (alors, on le dit non de bord et NBORD(.,I) = 1) ou non (alors, on le dit de bord et NBORD(.,I) = -1).

Tableau CTF9 : LCTF9 = NBZC, type réel simple précision.

Tableau [PAS(NBZC)] qui fournit, pour chacune des NBZC portions de frontière de contact, la valeur du pas du maillage (distance entre deux noeuds consécutifs) supposé constant. Si cette hypothèse n'était pas vérifiée, les valeurs des densités de force normales et tangentielles fournies à la fin pour les noeuds de contact seraient incorrectes.

Tableau CTFA : LCTFA = 2*NBNF, type entier.

Tableau [IDNF(2,NBNF)] des couples :

Numéro du noeud (ligne 1) <---> Référence (ligne 2)
pour tous les noeuds de frottement rangés globalement dans l'ordre croissant de la numérotation.

Tableau CTFB : LCTFB = 2*NBNF, type double précision.

Tableau [XMU(NBZF)] des coefficients de frottement par portions de frontière de frottement.

Tableau CTFC : LCTFC = 2*NBNF, type double précision.

Tableau [G(NBNF)] des seuils de glissement pour tous les noeuds de frottement rangés globalement dans l'ordre croissant de la numérotation.



Tableau CTFD : LCTFD = 4*NOE, type entier.

Tableau [NTYP(NTDL,2)] caractérisant, dans sa première colonne, toutes les équations du système, selon la convention suivante. Pour la I-ième équation :

NTYP(I,1) = 0

NTYP(I,2) = 0

pour toute équation "ordinaire". Ou bien :

NTYP(I,1) = -2 : équation bloquée en conditions aux limites à un $u_i \neq 0$.

NTYP(I,1) = -1 : équation bloquée en conditions aux limites à un $u_i = 0$.

NTYP(I,1) = 2 : équation de contact (condition unilatérale).

NTYP(I,1) = 3 : équation de contact (contact de deux solides).

NTYP(I,1) = 4 : équation de frottement.

Si la I-ième équation est de contact ou de frottement et si le problème est du type contact de deux solides :

NTYP(I,2) = J

où J est le numéro de l'équation vis à vis, c'est à dire l'équation correspondante du noeud vis à vis.

VIII - IDENTIFICATION DES S.D. TRAITEES

Au moment de l'utilisation d'une S.D., elle est chargée en mémoire centrale par l'utilitaire :

ANEMZO (M,NUMSD)

Quand on a besoin du numéro d'unité logique du fichier ou du numéro de niveau d'une S.D., on l'obtient par l'utilitaire :

RETORN (M,NUMSD,NFSD,NISD)

Enfin, quand une S.D. a été utilisée, elle est effacée de la mémoire centrale par l'utilitaire :

ACABAM (M,NUMSD,ISAUV)

où ISAUV > 0 indique que l'on désire sauvegarder la S.D. (nouveau contenu) avant de la tuer.

Pour ces trois utilitaires, l'argument NUMSD est un entier dont la valeur indique de quel type de S.D. il s'agit, selon la convention ci-dessous :

<u>NUMSD</u>	<u>S.D. traitée</u>	
1	NOPO	
2		réserve MGRI multigrilles
3	MAIL	
4	COOR	
5	BDCL	
6	CTFR	
7	TAE	(TAE -E, tableaux élémentaires)
8	B	(B -D, second membre d'origine)
9	MUA/AMAT	(MATR-D, matrice rigidité d'origine)
10	B	(B -R, second membre résolution)
11	MUA/AMAT	(MATR-R, matrice rigidité résolut.)
12	B	(B -S, déplacements solution)
13	TAE	(TAE -S, contraintes solution)

On distingue donc les S.D. TAE-E et TAE-S des tableaux élémentaires (7) et des contraintes (13). On distingue les matrices de rigidité d'origine MATR-D (9), résultats d'assemblage, et les matrices de rigidité pour la résolution MATR-R (11), ces dernières comportant les changements de base locaux (contact) et les conditions aux limites. On distingue enfin, pour les mêmes raisons, les S.D. B-D (8) d'origine et B-R (10) pour la résolution, ainsi que B-S (12) qui est le vecteur déplacements.

IX - EXEMPLE TEST

A titre de test, on trouvera ci-après le traitement complet de l'application décrite au paragraphe II (7.1) de l'article décrivant le problème. On s'est placé ici dans le cas où $F = 10.$, $f = -5.$ et $\mu = 1.$ pour lequel sont donnés des résultats détaillés. On produit des sorties imprimante pour la méthode SORP ($\omega = 1.720$) et pour la condensation ($\omega = 1.662$).

IX - 1 : fichier de données pour la méthode SORP classique.

```

10      * CONTACT AVEC FROTTEMENT, G.-S. NORMAL
      * NIVEAU DE BAVARDAGE
      * NOM GENERIQUE DES FICHIERS :

TG1'
      F      * CONSERVATION DES S.D. INTERMEDIAIRES
      * FICHIER DE LA S.D. NOPO :
[ELATIL.MAILLAGES]TG1.NOPD'
      F      * AXISYM, PROBLEME D'ELASTICITE PLANE
      * *** DESCRIPTION DES CONDITIONS AUX LIMITES :
      1      * NOMBRE DE REFERENCES DE BLOCAGES EN X
      0      * NOMBRE DE REFERENCES DE BLOCAGES EN Y
      * NUMEROS DE REFERENCE BLOQUES EN X :
      2
      T      * CLIMNN
      0      * NOMBRE DE REFERENCES A DEPLACEMENT IMPOSE
      1      * NOMBRE DE NOEUDS DECRITS ISOLEMENT
      230     * NUMERO DU NOEUD
      0.10000E+16 * DEPLACEMENT IMPOSE EN X
      0.00000E+00 * DEPLACEMENT IMPOSE EN Y
      * *** DESCRIPTION DU CONTACT :
      T      * CDUNIL, EXISTENCE DU CONTACT
      1      * NOMBRE DE REFERENCES DE CONTACT
      * NUMEROS DE REFERENCE DE CONTACT :
      1
      F      * MANQUE
      * VALEURS DES ANGLES (OX,N) PAR ZONES :
      -0.90000E+02 * ANGLE (OX,N) POUR LA REFERENCE 1
      * VALEURS DES VCU LIMITES N PAR ZONES :
      0.00000E+00 * LIMITE NORMALE POUR LA REFERENCE 1
      * *** DESCRIPTION DU FROTTEMENT :
      1      * NOMBRE DE REFERENCES DE FROTTEMENT
      * COEFFICIENTS DE FROTTEMENT :
      0.10000E+01 * COEFFICIENT DE FROTTEMENT POUR LA REFERENCE 1
      0      * CIFR, LOI DE FROTTEMENT : COULOMB
      * *** CARACTERISTIQUES PHYSIQUES :
      2      * OPTION ELASTICITE (1- C.P., 2- D.P.)
      0.13000E+05 * MODULE D'YOUNG MATERIAU 1
      0.20000E+00 * COEFFICIENT DE POISSON MATERIAU 1
      * *** CHARGEMENTS SURFACIQUES :
      T      * EXISTENCE DE DENSITES SURFACIQUES DE FORCES
      2      * NOMBRE DE REFERENCES DE CHARGEMENTS
      * NUMEROS DE REFERENCE DES CHARGEMENTS SURFACIQUES :
      3      4
      T      * DENSITE DE FORCE (X,Y) SI .TRUE., SINON (N,T),
      * POUR LA REFERENCE 3
      0.10000E+02 * DENSITE EN X,
      0.00000E+00 * DENSITE EN Y
      T      * DENSITE DE FORCE (X,Y) SI .TRUE., SINON (N,T),
      * POUR LA REFERENCE 4
      0.00000E+00 * DENSITE EN X,
      -0.50000E+01 * DENSITE EN Y
      * *** OPTIONS DE LA RESOLUTION :
      T      * ASSEMBLAGE PROFIL DE LA MATRICE
      1      * IRESOL, METHODE DE RESOLUTION :
      * METHODE GAUSS-SEIDEL SURRELAXEE
      1.72000E+00 * OMEGA, COEFFICIENT DE SURRELAXATION
      0.50000E-05 * EPSILON CONVERGENCE GAUSS-SEIDEL
      0      * MITER, MAX ITERATIONS
      T      * IMPRESSION DE CONTRAINTES ELEMENTAIRES

```

IX - 2 : sortie imprimante SORP classique.

```

M  M   000   DDDD   U  U  L   EEEEE  FFFFF
MM MM   0   0   D   D   U  U  L   E     F
M  M M   0   0   D   D   U  U  L   EEEE  FFFF
M  M M   0   0   D   D   U  U  L   E     F
M  M   000   DDDD   UUU  LLLLL  EEEEE  F   VERSION 89

```

```

DATE   : 27/03/91
HEURE  : 17:34:11
AUTEUR : LATIL

```

```

GGGG  Y  Y  PPFP  TTTT  II  SSSS
G      Y  Y  P  P   T   II  S
G GG   Y  PPFP   T   II  SSS
G  G   Y  P      T   II  S
GGG    Y  P      T   II  SSSS
***** GYPTIS VERSION 1.0 *****

```

```

*****
*
*      LABORATOIRE DE MECANIQUE ET D'ACOUSTIQUE
*      CNRS MARSEILLE
*      EQUIPE MECANIQUE ET METHODES NUMERIQUES
*
*****

```

RESOLUTION ELEMENTS FINIS D'UN PROBLEME DE CONTACT/FROTTEMENT

```

-----
GYPTIS : MISE EN DONNEES
-----

```

```

*****
* Test GRECO 1 : contact avec frottement, G.-S. normal
-----

```

```

* NOM DU FICHIER DU MAILLAGE (S.D. NOFO DE NIVEAU 0) :
-----
(LATIL.MAILLAGES)TG1.NOFO

```

```

* NOM GENERIQUE DES FICHIERS DU PROBLEME :
TG1

```

```

*****
CONSSD : DESCRIPTION DES CONDITIONS AUX LIMITES

```

 * DESCRIPTION DES CONDITIONS AUX LIMITES

NB NOMBRE DE NOEUDS SUPPORTANT DES CONDITIONS AUX LIMITES 13

LISTE DE CES NOEUDS :

197 200 201 202 203 204 205 210 211 217 223 227 230

-- BLOCAGES EN X :

REFERENCE 2 DEPLACEMENT IMPOSE 0.00000E+00

-- NOEUDS SUPPORTANT DES CONDITIONS AUX LIMITES HORS REFERENCES :

NOEUD 230 DEPLACEMENT IMPOSE EN Y 0.00000E+00

-- DESCRIPTION DE L'ENSEMBLE DES CONDITIONS AUX LIMITES :

NOEUD 197 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 200 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 201 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 202 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 203 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 204 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 205 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 210 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 211 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 217 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 223 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 227 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 230 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 230 DEPLACEMENT IMPOSE EN Y 0.00000E+00

#####

CONSSD : DESCRIPTION DU CONTACT

* NOEUDS TRAITES EN REPERE LOCAL (NORMALE,TANGENTE)

NOMBRE DE ZONES DE CONTACT 1
 NOMBRE DE NOEUDS DE CONTACT 32
 NOMBRE DE ZONES DE FROTTEMENT 1
 NOMBRE DE NOEUDS DE FROTTEMENT 32

ZONE 1 REFERENCE 1 ANGLE (OX,N) -90.0 CONTACT ET FROTTEMENT
 ----- NOMBRE DE NOEUDS 32
 NUMEROS DES NOEUDS : 1 3 5 6 7 13 15 16
 17 27 30 31 32 45 48 49 50 65 69 83 87
 100 115 132 150 170 191 206 214 221 226 229

CONTACT SYMETRIQUE

PAS DU MAILLAGE 1.2500

NOEUDS EXTREMES DE LA ZONE : PREMIER : 1 NOEUD DE BORD
 DERNIER : 229 NOEUD NON DE BORD

FIN DU MODULE CONSD

COSECH : DESCRIPTION DES CHARGEMENTS, MATRICES ELEMENTAIRES
SECOND MEMBRE NATUREL B-D

* VALEURS INITIALES

PROPRIETES CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX :

MATERIAU E NU

1 0.13000E+05 0.20000E+00

* LOI DE COMPORTEMENT : DEFORMATIONS PLANES

* CHARGEMENTS SURFACIQUES : DENSITES DE FORCES NODALES IMPOSEES :

FRONTIERE GAMMA - 1 DE REFERENCE : 3

DENSITE (X,Y) : 0.100000E+02 0.000000E+00

FRONTIERE GAMMA - 2 DE REFERENCE : 4

DENSITE (X,Y) : 0.000000E+00 -0.500000E+01

FORCES NODALES IMPOSEES :

NODEUD NO	F X	F Y
1	0.62500E+01	
2	0.12500E+02	
8	0.12500E+02	
18	0.12500E+02	
33	0.18750E+02	
51	0.25000E+02	
70	0.37500E+02	
88	0.50000E+02	
104	0.50000E+02	
121	0.50000E+02	
138	0.50000E+02	
156	0.50000E+02	
175	0.25000E+02	-0.12500E+02
176		-0.25000E+02
177		-0.25000E+02
178		-0.25000E+02
179		-0.25000E+02
180		-0.25000E+02
182		-0.25000E+02
195		-0.25000E+02
205		-0.12500E+02

+++++
 * Test GRECO 1 : contact avec frottement, G.-S. normal

 MODULE ASSMAT : RESOLUTION D'UN PROBLEME DE CONTACT/FROTTEMENT
 MATRICE ET SECOND MEMBRE POUR LA RESOLUTION

MATRICE DE RIGIDITE
 OPTION DE STOCKAGE DE LA MATRICE : PROFIL
 NOMBRE DE COEFFICIENTS STOCKES 13350
 DEMI-LARGEUR DE BANDE (EN D.-L.) 46

FIN DU MODULE ASSMAT

 * Test GRECO 1 : contact avec frottement, G.-S. normal

 MODULE RESOLG : RESOLUTION PAR LA METHODE DE GAUSS-SEIDEL

 * RESOLUTION DU SYSTEME LINEAIRE METHODE DE GAUSS-SEIDEL SURRELAXATION
 COEFFICIENT DE SURRELAXATION 0.172000E+01
 TOLERANCE SUR LA CONVERGENCE 0.500000E-05
 NOMBRE MINIMUM D'ITERATIONS 115
 NOMBRE MAXIMUM D'ITERATIONS 690

----- RESULTATS DES ITERATIONS -----

ITERATION NUMERO	VALEUR MOYENNE DU RESIDU	VALEUR DU TEST DE CONVERGENCE
*** INITIALISATION 1		
EPSILON FROTTEMENT =	0.100000E-01	SEUILS DE GLISSEMENT INITIAUX :
0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1	0.174349D+03	0.100000D+01
2	0.146108D+03	0.485085D+00
3	0.130564D+03	0.314752D+00
4	0.118634D+03	0.223714D+00
5	0.111567D+03	0.171288D+00
6	0.109075D+03	0.136193D+00
7	0.104667D+03	0.115727D+00
8	0.103647D+03	0.963510D-01
9	0.103130D+03	0.790986D-01
10	0.103572D+03	0.661417D-01
11	0.104224D+03	0.553266D-01
12	0.105511D+03	0.479716D-01
13	0.107170D+03	0.403216D-01
14	0.108976D+03	0.351336D-01
15	0.110372D+03	0.306410D-01
16	0.111347D+03	0.273259D-01
17	0.112267D+03	0.253305D-01
18	0.112995D+03	0.240895D-01
19	0.113649D+03	0.233455D-01
20	0.114207D+03	0.223324D-01
21	0.114739D+03	0.214501D-01

23	0.1138493D+03	0.1774308D-01
24	0.1160338D+03	0.1927992D-01
25	0.1163859D+03	0.1864505D-01
26	0.1167143D+03	0.1795734D-01
27	0.1170208D+03	0.1727343D-01
28	0.1173144D+03	0.1662361D-01
29	0.1176017D+03	0.1602444D-01
30	0.1178847D+03	0.1545884D-01
31	0.1181633D+03	0.1486968D-01
32	0.1184372D+03	0.1426208D-01
33	0.1187073D+03	0.1370609D-01
34	0.1189761D+03	0.1319380D-01
35	0.1192503D+03	0.1271513D-01
36	0.1195199D+03	0.1222758D-01
37	0.1197823D+03	0.1168067D-01
38	0.1200414D+03	0.1120651D-01
39	0.1203087D+03	0.1078012D-01
40	0.1205726D+03	0.1036783D-01
41	0.1208308D+03	0.9969334D-02

*** REACTUALISATION 2			SEUILS DE GLISSEMENT ACTUALISES :				
EPSILON FROTTEMENT = 0.500000E-02							
0.374093E+00	0.490365E+00	0.276830E+01	0.382528E+01	0.450439E+01	0.501913E+01	0.548158E+01	0.577704E+01
0.600567E+01	0.621959E+01	0.645627E+01	0.659726E+01	0.670583E+01	0.683087E+01	0.698416E+01	0.705808E+01
0.711369E+01	0.717706E+01	0.726923E+01	0.734751E+01	0.740114E+01	0.743155E+01	0.735950E+01	0.728659E+01
0.733211E+01	0.734107E+01	0.735021E+01	0.736474E+01	0.736556E+01	0.735492E+01	0.740002E+01	0.746220E+01
42	0.1323384D+03	0.3730668D-01					
43	0.1275204D+03	0.2682868D-01					
44	0.1253849D+03	0.2258894D-01					
45	0.1233473D+03	0.1974226D-01					
46	0.1218459D+03	0.1743557D-01					
47	0.1208052D+03	0.1614077D-01					
48	0.1192916D+03	0.1526403D-01					
49	0.1185872D+03	0.1454277D-01					
50	0.1177882D+03	0.1372538D-01					
51	0.1173318D+03	0.1314029D-01					
52	0.1167589D+03	0.1247440D-01					
53	0.1164132D+03	0.1218799D-01					
54	0.1160301D+03	0.1168801D-01					
55	0.1157034D+03	0.1137989D-01					
56	0.1154364D+03	0.1101495D-01					
57	0.1152049D+03	0.1070878D-01					
58	0.1150010D+03	0.1040660D-01					
59	0.1147878D+03	0.1006389D-01					
60	0.1146001D+03	0.9739148D-02					
61	0.1144251D+03	0.9484634D-02					
62	0.1142754D+03	0.9208019D-02					
63	0.1141316D+03	0.8945176D-02					
64	0.1140009D+03	0.8703631D-02					
65	0.1138661D+03	0.8454948D-02					
66	0.1137430D+03	0.8217041D-02					
67	0.1136247D+03	0.8013117D-02					
68	0.1135165D+03	0.7807526D-02					
69	0.1134059D+03	0.7596622D-02					
70	0.1133047D+03	0.7393810D-02					
71	0.1132106D+03	0.7194276D-02					
72	0.1131210D+03	0.6994344D-02					
73	0.1130347D+03	0.6782558D-02					
74	0.1129480D+03	0.6555179D-02					

76	0.1127923D+03	0.6119247D-02
77	0.1127204D+03	0.5930114D-02
78	0.1126523D+03	0.5745068D-02
79	0.1125885D+03	0.5555781D-02
80	0.1125282D+03	0.5364076D-02
81	0.1124704D+03	0.5175834D-02
82	0.1124178D+03	0.4999009D-02

*** REACTUALISATION 3			SEUILS DE GLISSEMENT ACTUALISES :				
EPSILON FROTTEMENT = 0.100000E-02							
0.259382E+00	0.409415E+00	0.306098E+00	0.199039E+00	0.109127E+01	0.247277E+01	0.322661E+01	0.384263E+01
0.435423E+01	0.477921E+01	0.516073E+01	0.554648E+01	0.591227E+01	0.625568E+01	0.660467E+01	0.701053E+01
0.745404E+01	0.800747E+01	0.837159E+01	0.849386E+01	0.856799E+01	0.864690E+01	0.870622E+01	0.877645E+01
0.881966E+01	0.886869E+01	0.889673E+01	0.893807E+01	0.896367E+01	0.899626E+01	0.900805E+01	0.903441E+01
83	0.1121774D+03	0.6778741D-02					
84	0.1121453D+03	0.3521377D-02					
85	0.1120917D+03	0.2438933D-02					
86	0.1120750D+03	0.2182963D-02					
87	0.1121387D+03	0.2308726D-02					
88	0.1121708D+03	0.2463891D-02					
89	0.1122182D+03	0.2333718D-02					
90	0.1122605D+03	0.2160232D-02					
91	0.1122948D+03	0.2033343D-02					
92	0.1123230D+03	0.1901522D-02					
93	0.1123533D+03	0.1824463D-02					
94	0.1123746D+03	0.1750651D-02					
95	0.1123923D+03	0.1667715D-02					
96	0.1124116D+03	0.1591827D-02					
97	0.1124293D+03	0.1527075D-02					
98	0.1124470D+03	0.1457524D-02					
99	0.1124632D+03	0.1397546D-02					
100	0.1124778D+03	0.1335460D-02					
101	0.1124914D+03	0.1272177D-02					
102	0.1125039D+03	0.1210367D-02					
103	0.1125157D+03	0.1151842D-02					
104	0.1125271D+03	0.1098085D-02					
105	0.1125380D+03	0.1048101D-02					
106	0.1125486D+03	0.1000250D-02					
107	0.1125588D+03	0.9556949D-03					

*** REACTUALISATION 4			SEUILS DE GLISSEMENT ACTUALISES :				
EPSILON FROTTEMENT = 0.500000E-03							
0.598108E-01	0.846765E-01	0.524843E-01	0.913659E+00	0.197042E+01	0.259554E+01	0.320299E+01	0.371157E+01
0.417046E+01	0.457199E+01	0.495727E+01	0.530281E+01	0.564775E+01	0.598680E+01	0.634825E+01	0.674099E+01
0.721624E+01	0.787247E+01	0.841069E+01	0.862735E+01	0.869866E+01	0.877244E+01	0.882194E+01	0.888853E+01
0.892727E+01	0.896702E+01	0.898439E+01	0.901739E+01	0.903284E+01	0.905583E+01	0.906426E+01	0.909450E+01
108	0.1125377D+03	0.1657521D-02					
109	0.1125540D+03	0.1308043D-02					
110	0.1125603D+03	0.1155641D-02					
111	0.1125667D+03	0.1079441D-02					
112	0.1125709D+03	0.9073154D-03					
113	0.1125795D+03	0.7753645D-03					
114	0.1125883D+03	0.7431620D-03					
115	0.1126004D+03	0.7353958D-03					
116	0.1126092D+03	0.7140256D-03					
117	0.1126213D+03	0.6953523D-03					
118	0.1126312D+03	0.6706604D-03					
119	0.1126411D+03	0.6431539D-03					
120	0.1126497D+03	0.6253909D-03					

122	0.112652D+03	0.589722D-03
123	0.112672D+03	0.565623D-03
124	0.112680D+03	0.546644D-03
125	0.112686D+03	0.529456D-03
126	0.112693D+03	0.511252D-03
127	0.112698D+03	0.492656D-03

*** REACTUALISATION 5

EPSILON FROTTEMENT =		SEUILS DE GLISSEMENT ACTUALISES :					
0.252212E-01	0.376525E-01	0.100000E-03	0.107122E+01	0.213755E+01	0.281764E+01	0.337828E+01	0.384313E+01
0.426109E+01	0.462816E+01	0.498497E+01	0.530776E+01	0.562575E+01	0.593494E+01	0.626505E+01	0.661840E+01
0.704030E+01	0.763193E+01	0.826435E+01	0.861145E+01	0.888843E+01	0.876195E+01	0.881094E+01	0.887699E+01
0.891466E+01	0.895442E+01	0.897169E+01	0.900511E+01	0.902075E+01	0.904420E+01	0.905242E+01	0.908266E+01
128	0.112697D+03	0.581939D-03					
129	0.1127058D+03	0.388843D-03					
130	0.1127095D+03	0.343178D-03					
131	0.1127160D+03	0.310455D-03					
132	0.1127161D+03	0.262376D-03					
133	0.1127197D+03	0.225312D-03					
134	0.1127202D+03	0.205095D-03					
135	0.1127225D+03	0.192304D-03					
136	0.1127236D+03	0.184729D-03					
137	0.1127259D+03	0.176250D-03					
138	0.1127278D+03	0.169723D-03					
139	0.1127300D+03	0.159962D-03					
140	0.1127320D+03	0.153577D-03					
141	0.1127340D+03	0.147553D-03					
142	0.1127356D+03	0.141964D-03					
143	0.1127372D+03	0.136693D-03					
144	0.1127389D+03	0.131856D-03					
145	0.1127406D+03	0.127998D-03					
146	0.1127423D+03	0.124454D-03					
147	0.1127440D+03	0.120965D-03					
148	0.1127455D+03	0.117360D-03					
149	0.1127469D+03	0.113057D-03					
150	0.1127483D+03	0.108695D-03					
151	0.1127496D+03	0.104219D-03					
152	0.1127509D+03	0.997960D-04					

*** REACTUALISATION 6

EPSILON FROTTEMENT =		SEUILS DE GLISSEMENT ACTUALISES :					
0.529876E-02	0.781452E-02	0.505508E-02	0.112860E+01	0.214485E+01	0.283019E+01	0.340196E+01	0.387360E+01
0.429284E+01	0.465756E+01	0.500831E+01	0.532815E+01	0.564204E+01	0.594482E+01	0.626410E+01	0.660217E+01
0.699405E+01	0.752828E+01	0.818639E+01	0.859821E+01	0.867840E+01	0.875223E+01	0.880145E+01	0.886746E+01
0.890499E+01	0.894518E+01	0.896289E+01	0.899683E+01	0.901298E+01	0.903703E+01	0.904534E+01	0.907543E+01
153	0.1127523D+03	0.131910D-03					
154	0.1127531D+03	0.974351D-04					
155	0.1127540D+03	0.837429D-04					
156	0.1127560D+03	0.757427D-04					
157	0.1127558D+03	0.622120D-04					
158	0.1127569D+03	0.541997D-04					
159	0.1127570D+03	0.511446D-04					
160	0.1127575D+03	0.471590D-04					

*** REACTUALISATION 7

EPSILON FROTTEMENT =		SEUILS DE GLISSEMENT ACTUALISES :					
0.328686E-02	0.471918E-02	0.344085E-02	0.113680E+01	0.214674E+01	0.282681E+01	0.339686E+01	0.386947E+01
0.429073E+01	0.465817E+01	0.501191E+01	0.533160E+01	0.564759E+01	0.595314E+01	0.627276E+01	0.661058E+01
0.699674E+01	0.751110E+01	0.816904E+01	0.859643E+01	0.867724E+01	0.875118E+01	0.880051E+01	0.886644E+01

161	0.11275810+03	0.4649676D-04
162	0.1127583D+03	0.4068594D-04
163	0.1127587D+03	0.3786723D-04
164	0.1127592D+03	0.3531595D-04
165	0.1127594D+03	0.3270345D-04
166	0.1127598D+03	0.3050314D-04
167	0.1127600D+03	0.2910087D-04
168	0.1127603D+03	0.2771530D-04
169	0.1127606D+03	0.2646953D-04
170	0.1127609D+03	0.2541440D-04
171	0.1127612D+03	0.2451365D-04
172	0.1127615D+03	0.2366471D-04
173	0.1127618D+03	0.2301451D-04
174	0.1127620D+03	0.2218579D-04
175	0.1127623D+03	0.2127826D-04
176	0.1127625D+03	0.2027253D-04
177	0.1127628D+03	0.1928733D-04
178	0.1127630D+03	0.1836820D-04
179	0.1127632D+03	0.1748383D-04
180	0.1127634D+03	0.1671430D-04
181	0.1127636D+03	0.1603600D-04
182	0.1127638D+03	0.1537162D-04
183	0.1127640D+03	0.1474456D-04
184	0.1127641D+03	0.1413301D-04
185	0.1127643D+03	0.1354227D-04
186	0.1127645D+03	0.1297205D-04
187	0.1127646D+03	0.1242873D-04
188	0.1127648D+03	0.1190956D-04
189	0.1127649D+03	0.1141198D-04
190	0.1127650D+03	0.1093635D-04
191	0.1127652D+03	0.1048025D-04
192	0.1127653D+03	0.1004320D-04
193	0.1127654D+03	0.9625415D-05

*** REACTUALISATION B

EPSILON FROTTEMENT =	0.500000E-05	SEUILS DE GLISSEMENT ACTUALISES :					
0.543039E-03	0.783915E-03	0.492512E-03	0.115886E+01	0.215481E+01	0.283161E+01	0.339861E+01	0.386930E+01
0.428957E+01	0.465571E+01	0.500743E+01	0.532857E+01	0.564396E+01	0.594876E+01	0.626969E+01	0.660850E+01
0.699511E+01	0.750617E+01	0.816436E+01	0.859498E+01	0.867610E+01	0.875001E+01	0.879928E+01	0.886528E+01
0.890278E+01	0.894306E+01	0.896087E+01	0.899492E+01	0.901118E+01	0.903538E+01	0.904370E+01	0.907376E+01

174	0.1127653D+03	0.2070606D-04
175	0.1127655D+03	0.1369045D-04
176	0.1127655D+03	0.1038662D-04
177	0.1127656D+03	0.8843727D-05
178	0.1127655D+03	0.7245917D-05
179	0.1127656D+03	0.6103712D-05
200	0.1127656D+03	0.5026568D-05
201	0.1127657D+03	0.4623959D-05

***** REACTUALISATION 9 SUR LE CRITERE SUP DE B(1) :

SUP SUR LES SEUILS DE GLISSEMENT =	0.347794D-03	SEUILS DE GLISSEMENT ACTUALISES :				
0.331599D-03	0.231727D-03	0.146810D-03	0.115570D+01	0.215584D+01	0.283338D+01	0.340048D+01
0.429115D+01	0.465704D+01	0.500822D+01	0.532884D+01	0.564405D+01	0.594840D+01	0.626886D+01
0.699397D+01	0.750416D+01	0.816288D+01	0.859481D+01	0.867599D+01	0.874990D+01	0.879921D+01
0.890268D+01	0.894296D+01	0.896078D+01	0.899484D+01	0.901110D+01	0.903530D+01	0.904362D+01

NOMBRE D'ITERATIONS : 201
 VALEUR MOYENNE DU RESIDU : 0.1127657D+03

----- VECTEUR RESIDU -----

1	0.331599E-03	2	-0.117558E-03	3	0.983583E-03	4	-0.140570E-03	5	0.231727E-03	6	-0.839089E-03
7	-0.864038E-03	8	0.514560E-03	9	-0.146810E-03	10	-0.335797E-03	11	-0.115570E+01	12	-0.115896E+01
13	-0.215584E+01	14	-0.215510E+01	15	0.184901E-03	16	-0.298095E-03	17	0.187500E-03	18	-0.542549E-04
19	-0.497578E-03	20	0.702132E-04	21	-0.441637E-03	22	-0.971208E-04	23	-0.723663E-03	24	0.117706E-03
25	-0.283338E+01	26	-0.283180E+01	27	-0.596318E-03	28	0.172835E-03	29	-0.340048E+01	30	-0.339904E+01
31	-0.387105E+01	32	-0.386981E+01	33	-0.429115E+01	34	-0.429013E+01	35	-0.113514E-03	36	-0.228074E-03
37	-0.362021E-03	38	0.429531E-04	39	-0.445010E-03	40	-0.929994E-04	41	-0.477793E-03	42	-0.239370E-03
43	-0.128812E-03	44	0.144302E-03	45	-0.488449E-03	46	0.301819E-04	47	-0.423769E-03	48	0.215386E-03
49	-0.404914E-03	50	-0.111880E-03	51	-0.249529E-03	52	-0.911602E-04	53	-0.465704E+01	54	-0.465614E+01
55	-0.321310E-03	56	-0.831116E-04	57	-0.477812E-03	58	0.243465E-03	59	-0.500822E+01	60	-0.500786E+01
61	-0.532884E+01	62	-0.532910E+01	63	-0.564405E+01	64	-0.564402E+01	65	-0.253597E-03	66	0.184638E-03
67	-0.361525E-03	68	0.139150E-03	69	-0.191454E-03	70	-0.164431E-03	71	-0.513004E-03	72	0.805015E-04
73	-0.589865E-03	74	0.458654E-03	75	-0.533739E-03	76	0.982365E-04	77	-0.371859E-03	78	-0.578933E-04
79	-0.528914E-03	80	0.325917E-03	81	-0.182554E-03	82	0.602381E-05	83	-0.318446E-03	84	-0.954133E-04
85	-0.489378E-03	86	-0.130584E-04	87	0.183512E-03	88	0.113442E-03	89	-0.594840E+01	90	-0.594908E+01
91	0.437540E-04	92	-0.104485E-03	93	-0.386693E-03	94	0.109605E-03	95	-0.624886E+01	96	-0.626971E+01
97	-0.660748E+01	98	-0.660871E+01	99	-0.699397E+01	100	-0.699506E+01	101	-0.909423E-03	102	0.793126E-04
103	-0.337099E-03	104	0.455322E-03	105	0.344151E-04	106	-0.508736E-03	107	-0.329932E-03	108	0.969050E-04
109	0.691014E-04	110	-0.329227E-03	111	-0.369487E-03	112	0.211740E-03	113	0.545339E-04	114	0.483690E-03
115	-0.218150E-03	116	-0.324261E-03	117	0.457601E-04	118	-0.239685E-03	119	0.271365E-06	120	0.402520E-03
121	-0.131408E-03	122	0.530803E-04	123	-0.595079E-04	124	-0.187182E-03	125	-0.190734E-04	126	-0.553237E-04
127	0.114586E-03	128	0.434335E-04	129	-0.750416E+01	130	-0.750426E+01	131	-0.321850E-04	132	-0.479999E-04
133	-0.159324E-03	134	0.655611E-04	135	-0.356604E-03	136	-0.278752E-03	137	-0.816288E+01	138	-0.759603E+01
139	-0.225357E-03	140	0.927253E-04	141	0.137756E-04	142	0.233423E-03	143	-0.125496E-04	144	-0.181416E-03
145	0.224356E-03	146	-0.213036E-03	147	-0.284114E-04	148	0.177271E-03	149	0.475689E-03	150	0.285448E-04
151	0.201027E-05	152	-0.385898E-04	153	-0.218227E-03	154	0.164749E-03	155	0.143642E-03	156	-0.125899E-03
157	-0.107967E-03	158	-0.971034E-04	159	-0.486662E-04	160	0.124669E-04	161	0.571369E-04	162	0.576613E-04
163	-0.214645E-04	164	-0.263716E-04	165	-0.859481E+01	166	-0.507207E+01	167	-0.771838E-04	168	-0.112910E-03
169	0.232580E-04	170	-0.121856E-03	171	-0.685842E-04	172	-0.643791E-04	173	-0.867599E+01	174	-0.433162E+01
175	-0.348515E-03	176	-0.440458E-04	177	-0.110844E-03	178	0.253891E-03	179	0.538906E-04	180	0.455089E-04
181	0.282725E-04	182	0.648867E-04	183	0.612018E-04	184	0.683320E-04	185	-0.787959E-04	186	0.167552E-03
187	0.108948E-03	188	-0.337284E-03	189	-0.114552E-04	190	0.110978E-03	191	-0.203472E-04	192	0.736114E-04
193	-0.544293E-04	194	-0.111014E-03	195	-0.501713E-04	196	-0.618655E-04	197	0.187808E-04	198	-0.495418E-04
199	-0.874990E+01	200	-0.372711E+01	201	-0.570452E-04	202	-0.622288E-05	203	-0.174557E-04	204	-0.131245E-03
205	-0.272338E-04	206	0.496132E-04	207	-0.217007E-03	208	-0.748233E-04	209	0.439930E-04	210	-0.141289E-03
211	0.997696E-05	212	-0.255397E-04	213	-0.748714E-05	214	0.174026E-03	215	0.494236E-04	216	-0.351235E-04
217	0.204313E-04	218	0.141436E-04	219	0.459402E-04	220	0.110976E-03	221	0.120255E-03	222	-0.281958E-04
223	-0.301311E-04	224	0.398405E-04	225	0.548859E-04	226	0.444957E-04	227	-0.335983E-04	228	-0.705395E-04
229	-0.879921E+01	230	-0.322506E+01	231	0.205858E-04	232	-0.898492E-04	233	-0.353825E-04	234	-0.592512E-05
235	0.400493E-04	236	-0.325492E-04	237	-0.285319E-04	238	-0.378496E-04	239	-0.279092E-05	240	-0.404979E-04
241	-0.112364E-03	242	0.321659E-04	243	-0.101164E-04	244	0.342231E-04	245	0.290402E-04	246	-0.780786E-04
247	0.649756E-04	248	-0.606749E-04	249	-0.182557E-05	250	0.802245E-04	251	0.743929E-04	252	-0.265947E-04
253	0.622420E-04	254	-0.630911E-04	255	0.171772E-04	256	-0.122171E-04	257	0.497117E-04	258	0.157343E-04
259	-0.141106E-04	260	-0.195137E-04	261	0.351882E-04	262	-0.275578E-04	263	-0.886520E+01	264	-0.278681E+01
265	-0.411621E-04	266	-0.527374E-04	267	-0.290778E-04	268	-0.144473E-04	269	0.541339E-05	270	-0.608830E-04
271	0.120943E-04	272	0.177745E-05	273	-0.140595E-04	274	-0.145328E-04	275	-0.341491E-04	276	0.430013E-04
277	-0.114231E-04	278	0.118304E-04	279	-0.377090E-04	280	-0.156062E-04	281	0.112496E-04	282	-0.529221E-04
283	0.520474E-04	284	-0.110868E-03	285	0.37678E-04	286	-0.246748E-04	287	0.429649E-04	288	-0.592777E-04
289	0.159979E-04	290	-0.553708E-04	291	0.396137E-04	292	-0.773670E-04	293	0.299629E-04	294	-0.198949E-04
295	0.132211E-04	296	-0.866702E-05	297	0.417336E-04	298	-0.187905E-04	299	-0.890268E+01	300	-0.240988E+01
301	0.207710E-04	302	-0.346604E-04	303	-0.191215E-04	304	-0.181665E-04	305	-0.910602E-05	306	-0.143133E-04
307	-0.690174E-05	308	-0.328893E-04	309	-0.104645E-04	310	-0.358429E-04	311	0.848973E-04	312	0.115285E-03
313	-0.163775E-04	314	-0.783784E-04	315	0.893507E-04	316	-0.980271E-04	317	-0.122315E-04	318	-0.593309E-04

325	-0.124801E-04	326	-0.133508E-03	327	0.647300E-04	328	-0.877702E-04	329	0.467568E-04	330	-0.559087E-04
331	0.512511E-04	332	-0.742689E-04	333	0.467163E-04	334	-0.596136E-04	335	0.105954E-04	336	-0.250988E-04
337	0.526775E-04	338	0.570987E-04	339	-0.894296E+01	340	-0.206018E+01	341	0.112223E-04	342	-0.387936E-05
343	0.431963E-05	344	-0.217627E-04	345	-0.161799E-04	346	-0.355537E-04	347	-0.108820E-04	348	-0.374399E-04
349	0.471306E-04	350	-0.300977E-04	351	-0.377567E-04	352	-0.102736E-03	353	-0.396794E-04	354	0.748835E-05
355	0.277372E-04	356	-0.497420E-05	357	-0.522573E-04	358	0.855820E-04	359	0.289120E-04	360	0.757891E-04
361	0.673121E-05	362	-0.669204E-04	363	0.210425E-04	364	0.114335E-03	365	-0.252652E-04	366	-0.248976E-03
367	0.523696E-04	368	0.436154E-04	369	0.460009E-04	370	-0.826253E-04	371	0.551198E-04	372	-0.976397E-04
373	0.643263E-04	374	-0.568512E-04	375	0.298619E-04	376	-0.525771E-04	377	-0.159532E-04	378	-0.472323E-04
379	0.409585E-04	380	0.758987E-04	381	-0.896078E+01	382	-0.172638E+01	383	0.883312E-08	384	-0.218191E-04
385	-0.207376E-04	386	-0.198649E-04	387	-0.131716E-04	388	0.837197E-07	389	0.418989E-04	390	0.107867E-03
391	0.389458E-04	392	0.232905E-04	393	-0.202835E+02	394	-0.948706E-04	395	0.280644E-04	396	0.485677E-05
397	0.453657E-04	398	0.279013E-04	399	-0.341198E+02	400	-0.267338E-04	401	-0.390901E+02	402	0.536317E-05
403	-0.437897E+02	404	0.205329E-04	405	-0.469780E+02	406	-0.246212E-04	407	-0.502511E+02	408	0.246641E-04
409	-0.268579E+02	410	0.734773E-04	411	-0.899484E+01	412	-0.140856E+01	413	-0.218313E-04	414	-0.224689E-04
415	-0.632760E-05	416	-0.321834E-04	417	-0.358587E-04	418	0.295892E-04	419	-0.116120E+02	420	0.261485E-04
421	-0.696535E+01	422	-0.105304E-04	423	0.549419E-05	424	-0.164399E-04	425	0.260099E-04	426	0.266984E-04
427	-0.901110E+01	428	-0.111339E+01	429	-0.670903E-05	430	-0.284196E-05	431	-0.133286E-04	432	0.228472E-05
433	-0.407891E+01	434	0.486206E-05	435	-0.833207E-05	436	0.117414E-04	437	0.410238E-05	438	0.277540E-04
439	0.797202E-05	440	0.169334E-05	441	-0.903530E+01	442	-0.826777E+00	443	-0.100794E-06	444	0.275155E-05
445	-0.348650E+01	446	-0.319723E-05	447	0.546417E-05	448	0.145035E-04	449	0.565922E-05	450	0.117365E-05
451	-0.904362E+01	452	-0.542302E+00	453	-0.287047E+01	454	0.200937E-06	455	-0.524012E-05	456	-0.601485E-05
457	-0.907368E+01	458	-0.259859E+00	459	-0.115754E+01	460	0.451977E+01				

FIN DU MODULE RESOLG

 * DEPLACEMENTS NODAUX

NOEUD	U(X)	U(Y)	NOEUD	U(X)	U(Y)
1	0.14662E-01	0.57038E-03	2	0.14970E-01	0.80825E-03
3	0.13745E-01	0.27128E-03	4	0.14505E-01	0.64259E-03
5	0.12817E-01	0.48833E-04	6	0.11794E-01	-0.25988E-18
7	0.10732E-01	-0.23648E-18	8	0.15341E-01	0.10337E-02
9	0.13571E-01	0.35889E-03	10	0.14425E-01	0.67625E-03
11	0.12611E-01	0.19510E-03	12	0.11647E-01	0.11142E-03
13	0.96772E-02	-0.21323E-18	14	0.10685E-01	0.58802E-04
15	0.86458E-02	-0.19050E-18	16	0.76458E-02	-0.16847E-18
17	0.66818E-02	-0.14723E-18	18	0.15783E-01	0.12080E-02
19	0.14873E-01	0.82536E-03	20	0.13494E-01	0.41121E-03
21	0.12580E-01	0.23236E-03	22	0.11664E-01	0.11383E-03
23	0.97347E-02	0.12434E-04	24	0.10773E-01	0.17104E-04
25	0.88018E-02	-0.27140E-04	26	0.78950E-02	-0.64842E-04
27	0.57558E-02	-0.12682E-18	28	0.70160E-02	-0.98121E-04
29	0.13987E-01	0.49376E-03	30	0.48710E-02	-0.10733E-18
31	0.40305E-02	-0.88809E-19	32	0.32380E-02	-0.71346E-19
33	0.16272E-01	0.13203E-02	34	0.14519E-01	0.53158E-03
35	0.13087E-01	0.28139E-03	36	0.12222E-01	0.94928E-04
37	0.11357E-01	-0.25688E-04	38	0.98879E-02	-0.60355E-04
39	0.90306E-02	-0.13785E-03	40	0.81889E-02	-0.19908E-03
41	0.61723E-02	-0.13251E-03	42	0.73819E-02	-0.26747E-03

45	0.24968E-02	-0.55014E-19	46	0.38864E-02	-0.23082E-03
47	0.10527E-01	-0.15950E-03	48	0.18140E-02	-0.39771E-19
49	0.11981E-02	-0.26400E-19	50	0.66531E-03	-0.14660E-19
51	0.17350E-01	0.13426E-02	52	0.15638E-01	0.52500E-03
53	0.12782E-01	0.51333E-04	54	0.11159E-01	-0.27428E-03
55	0.97000E-02	-0.25168E-03	56	0.89070E-02	-0.35664E-03
57	0.81302E-02	-0.43715E-03	58	0.66002E-02	-0.32753E-03
59	0.58627E-02	-0.39532E-03	60	0.51587E-02	-0.45461E-03
61	0.32234E-02	-0.26745E-03	62	0.45074E-02	-0.52377E-03
63	0.26206E-02	-0.30495E-03	64	0.20889E-02	-0.34938E-03
65	0.24253E-03	-0.53440E-20	66	0.16400E-02	-0.39820E-03
67	0.14002E-01	-0.12510E-03	68	0.73950E-02	-0.54082E-03
69	-0.28575E-23	0.00000E+00	70	0.18432E-01	0.11681E-02
71	0.15152E-01	-0.38795E-03	72	0.12393E-01	-0.54475E-03
73	0.95822E-02	-0.52338E-03	74	0.81354E-02	-0.76170E-03
75	0.66804E-02	-0.62420E-03	76	0.60120E-02	-0.72020E-03
77	0.53759E-02	-0.80891E-03	78	0.38999E-02	-0.59284E-03
79	0.33578E-02	-0.67137E-03	80	0.28712E-02	-0.75393E-03
81	0.12880E-02	-0.46240E-03	82	0.24570E-02	-0.84035E-03
83	-0.20700E-24	0.00000E+00	84	0.10422E-02	-0.52940E-03
85	0.10909E-01	-0.92372E-03	86	0.47947E-02	-0.91327E-03
87	-0.11371E-25	0.00000E+00	88	0.20446E-01	0.48453E-03
89	0.17235E-01	-0.10687E-02	90	0.12078E-01	-0.13516E-02
91	0.94850E-02	-0.12291E-02	92	0.67795E-02	-0.98851E-03
93	0.55926E-02	-0.12328E-02	94	0.42500E-02	-0.10200E-02
95	0.37641E-02	-0.11242E-02	96	0.33222E-02	-0.12373E-02
97	0.21023E-02	-0.93843E-03	98	0.87318E-03	-0.55499E-03
99	0.18094E-02	-0.10065E-02	100	0.20581E-25	0.00000E+00
101	0.74837E-03	-0.56830E-03	102	0.81881E-02	-0.15470E-02
103	0.29278E-02	-0.13316E-02	104	0.22202E-01	-0.44786E-03
105	0.14205E-01	-0.22192E-02	106	0.18987E-01	-0.19109E-02
107	0.15882E-01	-0.31500E-02	108	0.93886E-02	-0.21029E-02
109	0.11344E-01	-0.32009E-02	110	0.69693E-02	-0.18721E-02
111	0.45396E-02	-0.14912E-02	112	0.36539E-02	-0.17186E-02
113	0.25707E-02	-0.14423E-02	114	0.15641E-02	-0.10633E-02
115	0.41195E-26	0.00000E+00	116	0.64477E-03	-0.57848E-03
117	0.13633E-02	-0.10851E-02	118	0.58839E-02	-0.21652E-02
119	0.22650E-02	-0.15005E-02	120	0.55884E-03	-0.58617E-03
121	0.23615E-01	-0.14957E-02	122	0.20443E-01	-0.28371E-02
123	0.12943E-01	-0.41728E-02	124	0.17285E-01	-0.40553E-02
125	0.14211E-01	-0.51744E-02	126	0.69792E-02	-0.28380E-02
127	0.87664E-02	-0.39745E-02	128	0.10129E-01	-0.51165E-02
129	0.48918E-02	-0.24616E-02	130	0.28877E-02	-0.19344E-02
131	0.19887E-02	-0.15673E-02	132	-0.59824E-26	0.00000E+00
133	0.11842E-02	-0.11175E-02	134	0.10301E-02	-0.11311E-02
135	0.48196E-03	-0.59327E-03	136	0.39999E-02	-0.26658E-02
137	0.17447E-02	-0.15886E-02	138	0.24883E-01	-0.25427E-02
139	0.21657E-01	-0.37781E-02	140	0.18461E-01	-0.49978E-02
141	0.11243E-01	-0.60833E-02	142	0.15296E-01	-0.60863E-02
143	0.12170E-01	-0.70841E-02	144	0.49175E-02	-0.33841E-02
145	0.63481E-02	-0.47334E-02	146	0.74697E-02	-0.58018E-02
147	0.83448E-02	-0.69019E-02	148	0.22630E-02	-0.20456E-02
149	0.31810E-02	-0.29052E-02	150	0.48902E-27	0.00000E+00
151	0.15165E-02	-0.16478E-02	152	0.88892E-03	-0.11545E-02
153	0.41497E-03	-0.59754E-03	154	0.13178E-02	-0.16611E-02
155	0.76107E-03	-0.11561E-02	156	0.26011E-01	-0.35289E-02
157	0.22786E-01	-0.47249E-02	158	0.19534E-01	-0.59028E-02
159	0.16277E-01	-0.70324E-02	160	0.90894E-02	-0.78337E-02
161	0.13017E-01	-0.79738E-02	162	0.97582E-02	-0.88097E-02

167	0.60373E-02	-0.84650E-02	168	0.35351E-02	-0.74146E-02
169	0.24690E-02	-0.30057E-02	170	0.17174E-02	-0.21614E-02
171	0.11300E-02	-0.16914E-02	172	0.35061E-03	-0.60048E-03
173	0.63834E-03	-0.11691E-02	174	0.95044E-03	-0.16842E-02
175	0.27159E-01	-0.44714E-02	176	0.23908E-01	-0.56408E-02
177	0.20614E-01	-0.68259E-02	178	0.17260E-01	-0.79040E-02
179	0.13861E-01	-0.89032E-02	180	0.10422E-01	-0.96559E-02
181	0.65029E-02	-0.93531E-02	182	0.69618E-02	-0.10290E-01
183	0.15038E-02	-0.39750E-02	184	0.18046E-02	-0.31288E-02
185	0.20217E-02	-0.55194E-02	186	0.24331E-02	-0.66581E-02
187	0.27469E-02	-0.78242E-02	188	0.30132E-02	-0.87706E-02
189	0.32503E-02	-0.97657E-02	190	0.12487E-02	-0.21836E-02
191	0.28219E-26	0.00000E+00	192	0.29136E-03	-0.60321E-03
193	0.52320E-03	-0.11716E-02	194	0.77610E-03	-0.17187E-02
195	0.34841E-02	-0.10601E-01	196	0.11802E-02	-0.31273E-02
197	0.11522E-17	-0.41173E-02	198	0.57411E-03	-0.32294E-02
199	0.80757E-03	-0.22407E-02	200	0.17179E-17	-0.54899E-02
201	0.19682E-17	-0.68404E-02	202	0.21892E-17	-0.78744E-02
203	0.23653E-17	-0.89461E-02	204	0.25301E-17	-0.98348E-02
205	0.27046E-17	-0.10775E-01	206	-0.18459E-26	0.00000E+00
207	0.23378E-03	-0.60624E-03	208	0.41262E-03	-0.11845E-02
209	0.61514E-03	-0.17167E-02	210	0.58466E-18	-0.32066E-02
211	0.39567E-18	-0.22789E-02	212	0.39788E-03	-0.22419E-02
213	0.45796E-03	-0.17366E-02	214	-0.11531E-25	0.00000E+00
215	0.18049E-03	-0.60814E-03	216	0.30675E-03	-0.11821E-02
217	0.20537E-18	-0.17408E-02	218	0.14708E-03	-0.17491E-02
219	0.30183E-03	-0.17233E-02	220	0.20211E-03	-0.11901E-02
221	-0.86479E-27	0.00000E+00	222	0.12688E-03	-0.60940E-03
223	0.18174E-18	-0.11965E-02	224	0.10030E-03	-0.11894E-02
225	0.75779E-04	-0.61085E-03	226	0.11371E-25	0.00000E+00
227	0.90846E-19	-0.60740E-03	228	0.24583E-04	-0.61350E-03
229	0.82117E-26	0.00000E+00	230	0.12509E-18	-0.55628E-18

* CONTRAINTES

ELEMENT	SIGMA 11	SIGMA 22	SIGMA 12	SIGMA 33	ELEMENT	SIGMA 11	SIGMA 22	SIGMA 12	SIGMA 33
1	-0.1005E+02	0.6407E-01	-0.1011E+00	-0.1997E+01	2	-0.9955E+01	-0.8636E-01	0.1167E-01	-0.2008E+01
3	-0.1009E+02	-0.7891E-01	0.1729E+00	-0.2033E+01	4	-0.1013E+02	-0.4678E-01	0.4136E-01	-0.2035E+01
5	-0.1015E+02	-0.3829E+00	0.2935E+00	-0.2106E+01	6	-0.9972E+01	-0.1919E+00	0.8810E-01	-0.2033E+01
7	-0.1029E+02	-0.6702E+00	0.4468E+00	-0.2191E+01	8	-0.1043E+02	-0.1367E+00	0.4781E+00	-0.2114E+01
9	-0.1133E+02	-0.9831E+00	0.1113E+01	-0.2462E+01	10	-0.1071E+02	-0.1016E+01	0.1088E+01	-0.2344E+01
11	-0.1195E+02	-0.1780E+01	0.1661E+01	-0.2746E+01	12	-0.1087E+02	-0.1795E+01	0.1651E+01	-0.2532E+01
13	-0.1202E+02	-0.2369E+01	0.2081E+01	-0.2878E+01	14	-0.1015E+02	-0.9233E+00	0.3920E+00	-0.2216E+01
15	-0.1001E+02	-0.6151E+00	0.2568E+00	-0.2125E+01	16	-0.1022E+02	-0.5538E+00	0.5342E+00	-0.2156E+01
17	-0.1071E+02	-0.1222E+01	0.1036E+01	-0.2385E+01	18	-0.1033E+02	-0.9666E+00	0.7927E+00	-0.2259E+01
19	-0.1020E+02	-0.1177E+01	0.1069E+01	-0.2276E+01	20	-0.1092E+02	-0.1871E+01	0.1590E+01	-0.2558E+01
21	-0.1040E+02	-0.1931E+01	0.1544E+01	-0.2466E+01	22	-0.1103E+02	-0.2446E+01	0.1931E+01	-0.2495E+01
23	-0.1188E+02	-0.2836E+01	0.2484E+01	-0.2944E+01	24	-0.1088E+02	-0.2334E+01	0.2107E+01	-0.2443E+01
25	-0.1104E+02	-0.2959E+01	0.2240E+01	-0.2799E+01	26	-0.1028E+02	-0.2497E+01	0.1893E+01	-0.2554E+01
27	-0.1080E+02	-0.2780E+01	0.2526E+01	-0.2716E+01	28	-0.1163E+02	-0.3202E+01	0.2843E+01	-0.2967E+01
29	-0.1061E+02	-0.3151E+01	0.2881E+01	-0.2753E+01	30	-0.1133E+02	-0.3534E+01	0.3168E+01	-0.2972E+01
31	-0.1039E+02	-0.3481E+01	0.3209E+01	-0.2775E+01	32	-0.1098E+02	-0.3809E+01	0.3455E+01	-0.2959E+01

35	-0.1043E+02	-0.2081E+01	0.1683E+01	-0.2504E+01	38	-0.1017E+02	-0.1648E+01	0.1216E+01	-0.2363E+01
37	-0.1043E+02	-0.2081E+01	0.1683E+01	-0.2504E+01	40	-0.1005E+02	-0.2716E+01	0.1610E+01	-0.2553E+01
39	-0.1044E+02	-0.2081E+01	0.1683E+01	-0.2504E+01	42	-0.1006E+02	-0.2719E+01	0.1895E+01	-0.2555E+01
41	-0.1042E+02	-0.3068E+01	0.2109E+01	-0.2697E+01	44	-0.1093E+02	-0.3308E+01	0.2514E+01	-0.2848E+01
43	-0.1033E+02	-0.2951E+01	0.2246E+01	-0.2656E+01	46	-0.1011E+02	-0.3308E+01	0.2513E+01	-0.2684E+01
45	-0.1035E+02	-0.3052E+01	0.2192E+01	-0.2681E+01	48	-0.1050E+02	-0.3898E+01	0.3034E+01	-0.2879E+01
47	-0.1074E+02	-0.3681E+01	0.2793E+01	-0.2885E+01	50	-0.1008E+02	-0.3770E+01	0.3484E+01	-0.2771E+01
49	-0.1003E+02	-0.3629E+01	0.2832E+01	-0.2731E+01	52	-0.9716E+01	-0.3893E+01	0.3038E+01	-0.2722E+01
51	-0.1061E+02	-0.4087E+01	0.3722E+01	-0.2939E+01	54	-0.1030E+02	-0.2165E+01	0.1385E+01	-0.2492E+01
53	-0.1019E+02	-0.4196E+01	0.3265E+01	-0.2877E+01	56	-0.9749E+01	-0.4047E+01	0.3752E+01	-0.2759E+01
55	-0.1019E+02	-0.4332E+01	0.3965E+01	-0.2904E+01	58	-0.9732E+01	-0.4584E+01	0.4199E+01	-0.2863E+01
57	-0.9337E+01	-0.4302E+01	0.3987E+01	-0.2728E+01	60	-0.9232E+01	-0.4808E+01	0.4416E+01	-0.2808E+01
59	-0.8903E+01	-0.4551E+01	0.4223E+01	-0.2691E+01	62	-0.1014E+02	-0.2570E+01	0.7155E+00	-0.2542E+01
61	-0.9861E+01	-0.2344E+01	0.5648E+00	-0.2441E+01	64	-0.1005E+02	-0.2547E+01	0.1384E+01	-0.2519E+01
63	-0.1001E+02	-0.2393E+01	0.1403E+01	-0.2480E+01	66	-0.1013E+02	-0.3004E+01	0.1904E+01	-0.2626E+01
65	-0.1012E+02	-0.3002E+01	0.1619E+01	-0.2624E+01	68	-0.9918E+01	-0.3723E+01	0.2159E+01	-0.2728E+01
67	-0.9873E+01	-0.3542E+01	0.2189E+01	-0.2683E+01	70	-0.1023E+02	-0.3792E+01	0.2365E+01	-0.2805E+01
69	-0.9625E+01	-0.3335E+01	0.1955E+01	-0.2592E+01	72	-0.1006E+02	-0.3747E+01	0.2635E+01	-0.2761E+01
71	-0.9842E+01	-0.3535E+01	0.2370E+01	-0.2675E+01	74	-0.9618E+01	-0.4111E+01	0.2657E+01	-0.2746E+01
73	-0.9816E+01	-0.4292E+01	0.2946E+01	-0.2822E+01	76	-0.9836E+01	-0.4397E+01	0.3462E+01	-0.2847E+01
75	-0.9432E+01	-0.4065E+01	0.2763E+01	-0.2699E+01	78	-0.9523E+01	-0.4219E+01	0.2982E+01	-0.2748E+01
77	-0.9509E+01	-0.4165E+01	0.3288E+01	-0.2735E+01	80	-0.9430E+01	-0.4672E+01	0.3659E+01	-0.2820E+01
79	-0.9091E+01	-0.4404E+01	0.3457E+01	-0.2699E+01	82	-0.8789E+01	-0.4650E+01	0.3676E+01	-0.2688E+01
81	-0.8976E+01	-0.4843E+01	0.3820E+01	-0.2744E+01	84	-0.8662E+01	-0.5063E+01	0.4628E+01	-0.2745E+01
83	-0.8381E+01	-0.4794E+01	0.4427E+01	-0.2635E+01	86	-0.8272E+01	-0.4867E+01	0.3803E+01	-0.2628E+01
85	-0.8454E+01	-0.5089E+01	0.3969E+01	-0.2709E+01	88	-0.7793E+01	-0.5049E+01	0.4639E+01	-0.2568E+01
87	-0.9108E+01	-0.3715E+01	0.2340E+01	-0.2721E+01	90	-0.7090E+01	-0.5317E+01	0.4820E+01	-0.2481E+01
89	-0.7998E+01	-0.5303E+01	0.4830E+01	-0.2660E+01	92	-0.6036E+01	-0.5823E+01	0.5140E+01	-0.2372E+01
91	-0.7166E+01	-0.5576E+01	0.5014E+01	-0.2549E+01	94	-0.1015E+02	-0.3482E+01	0.5729E+00	-0.2726E+01
93	-0.6267E+01	-0.5616E+01	0.4985E+01	-0.2377E+01	96	-0.9831E+01	-0.3882E+01	0.1083E+01	-0.2743E+01
95	-0.9672E+01	-0.3149E+01	0.8150E+00	-0.2564E+01	98	-0.9767E+01	-0.3907E+01	0.1967E+01	-0.2735E+01
97	-0.9707E+01	-0.3382E+01	0.1235E+01	-0.2618E+01	100	-0.9502E+01	-0.3840E+01	0.2133E+01	-0.2668E+01
99	-0.9554E+01	-0.3344E+01	0.1735E+01	-0.2580E+01	102	-0.9645E+01	-0.4218E+01	0.2471E+01	-0.2772E+01
101	-0.9536E+01	-0.3978E+01	0.2366E+01	-0.2703E+01	104	-0.9133E+01	-0.4676E+01	0.2759E+01	-0.2762E+01
103	-0.9458E+01	-0.4171E+01	0.2577E+01	-0.2726E+01	106	-0.8952E+01	-0.4463E+01	0.2641E+01	-0.2683E+01
105	-0.9111E+01	-0.4588E+01	0.2995E+01	-0.2740E+01	108	-0.9184E+01	-0.4775E+01	0.3249E+01	-0.2792E+01
107	-0.8875E+01	-0.4529E+01	0.3083E+01	-0.2681E+01	110	-0.8349E+01	-0.5176E+01	0.3464E+01	-0.2705E+01
109	-0.8796E+01	-0.4679E+01	0.3286E+01	-0.2695E+01	112	-0.8118E+01	-0.4907E+01	0.3313E+01	-0.2605E+01
111	-0.8490E+01	-0.5000E+01	0.3282E+01	-0.2698E+01	114	-0.7852E+01	-0.5285E+01	0.4075E+01	-0.2627E+01
113	-0.7860E+01	-0.5116E+01	0.3948E+01	-0.2595E+01	116	-0.7209E+01	-0.5347E+01	0.4029E+01	-0.2511E+01
115	-0.7844E+01	-0.5050E+01	0.3464E+01	-0.2579E+01	118	-0.6672E+01	-0.5604E+01	0.4087E+01	-0.2455E+01
117	-0.7139E+01	-0.5514E+01	0.4154E+01	-0.2531E+01	120	-0.4138E+01	-0.6044E+01	0.5056E+01	-0.2036E+01
119	-0.6285E+01	-0.5689E+01	0.4151E+01	-0.2395E+01	122	-0.5252E+01	-0.5755E+01	0.4025E+01	-0.2202E+01
121	-0.5311E+01	-0.5989E+01	0.5015E+01	-0.2260E+01	124	-0.9679E+01	-0.3843E+01	0.1582E+01	-0.2704E+01
123	-0.5939E+01	-0.5807E+01	0.4063E+01	-0.2349E+01	126	-0.4272E+01	-0.6440E+01	0.4759E+01	-0.2143E+01
125	-0.8897E+01	-0.4617E+01	0.2847E+01	-0.2703E+01	128	-0.9969E+01	-0.4336E+01	0.5710E+00	-0.2861E+01
127	-0.1529E+01	-0.6118E+01	0.4516E+01	-0.1529E+01	130	-0.9372E+01	-0.4187E+01	0.1213E+01	-0.2712E+01
129	-0.9771E+01	-0.4294E+01	0.4989E+00	-0.2813E+01	132	-0.9150E+01	-0.4456E+01	0.2054E+01	-0.2721E+01
131	-0.9350E+01	-0.4098E+01	0.1604E+01	-0.2690E+01	134	-0.9034E+01	-0.4790E+01	0.2408E+01	-0.2765E+01
133	-0.9190E+01	-0.4615E+01	0.1711E+01	-0.2761E+01	136	-0.8559E+01	-0.4858E+01	0.2876E+01	-0.2683E+01
135	-0.8807E+01	-0.4370E+01	0.2214E+01	-0.2635E+01	138	-0.8498E+01	-0.5031E+01	0.2910E+01	-0.2706E+01
137	-0.8509E+01	-0.4659E+01	0.2433E+01	-0.2634E+01	140	-0.7641E+01	-0.5382E+01	0.3425E+01	-0.2604E+01
139	-0.8126E+01	-0.4938E+01	0.2941E+01	-0.2613E+01	142	-0.7729E+01	-0.5201E+01	0.2981E+01	-0.2586E+01
141	-0.7638E+01	-0.5371E+01	0.3005E+01	-0.2602E+01	144	-0.7271E+01	-0.5595E+01	0.3526E+01	-0.2573E+01
143	-0.7221E+01	-0.5276E+01	0.3415E+01	-0.2499E+01	146	-0.6176E+01	-0.5555E+01	0.3379E+01	-0.2346E+01
145	-0.6630E+01	-0.5434E+01	0.3508E+01	-0.2413E+01	148	-0.6684E+01	-0.5682E+01	0.3418E+01	-0.2473E+01
147	-0.5933E+01	-0.5784E+01	0.3375E+01	-0.2344E+01	150	-0.4118E+01	-0.5824E+01	0.3771E+01	-0.1988E+01
149	-0.5333E+01	-0.5959E+01	0.3872E+01	-0.2258E+01	152	-0.1603E+01	-0.6413E+01	0.3784E+01	-0.1603E+01
151	-0.5246E+01	-0.5612E+01	0.3324E+01	-0.2172E+01					

157	-0.7218E+01	-0.5266E+01	0.2995E+01	-0.2497E+01	158	-0.3065E+01	-0.6851E+01	0.1871E+01	-0.2873E+01
159	-0.1642E+01	-0.6567E+01	0.3243E+01	-0.1642E+01	160	-0.9930E+01	-0.5013E+01	0.3456E+01	-0.1983E+01
161	-0.9426E+01	-0.4877E+01	0.5699E+00	-0.2861E+01	162	-0.9898E+01	-0.4756E+01	0.2200E+00	-0.2993E+01
163	-0.9380E+01	-0.4695E+01	0.1058E+01	-0.2815E+01	164	-0.9578E+01	-0.4676E+01	0.3127E+00	-0.2931E+01
165	-0.8892E+01	-0.4573E+01	0.1241E+01	-0.2693E+01	166	-0.8562E+01	-0.5115E+01	0.3553E+00	-0.2851E+01
167	-0.8489E+01	-0.4820E+01	0.1891E+01	-0.2662E+01	168	-0.8300E+01	-0.5100E+01	0.1305E+01	-0.2735E+01
169	-0.8296E+01	-0.5085E+01	0.1912E+01	-0.2676E+01	170	-0.7849E+01	-0.4988E+01	0.2363E+01	-0.2680E+01
171	-0.7781E+01	-0.5408E+01	0.2453E+01	-0.2638E+01	172	-0.7072E+01	-0.5473E+01	0.2348E+01	-0.2567E+01
173	-0.7007E+01	-0.5215E+01	0.2423E+01	-0.2444E+01	174	-0.6675E+01	-0.5644E+01	0.2977E+01	-0.2509E+01
175	-0.6166E+01	-0.5517E+01	0.2870E+01	-0.2337E+01	176	-0.5676E+01	-0.5612E+01	0.2909E+01	-0.2464E+01
177	-0.6180E+01	-0.5527E+01	0.2863E+01	-0.2341E+01	178	-0.5694E+01	-0.5683E+01	0.2738E+01	-0.2258E+01
179	-0.5262E+01	-0.5575E+01	0.3098E+01	-0.2167E+01	180	-0.4643E+01	-0.5882E+01	0.3169E+01	-0.2275E+01
181	-0.4220E+01	-0.6254E+01	0.3279E+01	-0.2095E+01	182	-0.2891E+01	-0.6157E+01	0.3004E+01	-0.2105E+01
183	-0.4093E+01	-0.5745E+01	0.3053E+01	-0.1968E+01	184	-0.2854E+01	-0.6925E+01	0.3207E+01	-0.1810E+01
185	-0.1671E+01	-0.6685E+01	0.2794E+01	-0.1671E+01	186	-0.2676E+01	-0.6213E+01	0.2974E+01	-0.1956E+01
187	-0.3783E+01	-0.6426E+01	0.3005E+01	-0.2042E+01	188	-0.7845E+01	-0.4972E+01	0.2845E+01	-0.1778E+01
189	-0.5244E+01	-0.5504E+01	0.2667E+01	-0.2150E+01	190	-0.9959E+01	-0.4998E+01	0.1897E+01	-0.2563E+01
191	-0.9922E+01	-0.5318E+01	0.7752E-01	-0.3048E+01	192	-0.8938E+01	-0.4755E+01	-0.7216E-02	-0.2991E+01
193	-0.9639E+01	-0.4918E+01	0.2354E+00	-0.2911E+01	194	-0.9191E+01	-0.4930E+01	0.7528E+00	-0.2739E+01
195	-0.9534E+01	-0.4835E+01	0.3075E+00	-0.2874E+01	196	-0.9212E+01	-0.5016E+01	0.6245E+00	-0.2824E+01
197	-0.9778E+01	-0.4896E+01	0.2002E+00	-0.2935E+01	198	-0.7754E+01	-0.4912E+01	0.2651E+00	-0.2846E+01
199	-0.7825E+01	-0.5197E+01	0.1835E+01	-0.2604E+01	200	-0.8831E+01	-0.4840E+01	0.1322E+01	-0.2533E+01
201	-0.8267E+01	-0.5145E+01	0.1098E+01	-0.2682E+01	202	-0.8271E+01	-0.5161E+01	0.7103E+00	-0.2734E+01
203	-0.7245E+01	-0.5462E+01	0.2277E+01	-0.2541E+01	204	-0.7243E+01	-0.5455E+01	0.6384E+00	-0.2686E+01
205	-0.6191E+01	-0.5572E+01	0.2189E+01	-0.2353E+01	206	-0.6705E+01	-0.5327E+01	0.1738E+01	-0.2540E+01
207	-0.5500E+01	-0.5399E+01	0.2215E+01	-0.2180E+01	208	-0.5537E+01	-0.5547E+01	0.2270E+01	-0.2407E+01
209	-0.4795E+01	-0.5935E+01	0.2785E+01	-0.2146E+01	210	-0.4786E+01	-0.5898E+01	0.2566E+01	-0.2217E+01
211	-0.3714E+01	-0.6152E+01	0.2615E+01	-0.1973E+01	212	-0.4456E+01	-0.5850E+01	0.2446E+01	-0.2137E+01
213	-0.2675E+01	-0.6977E+01	0.2574E+01	-0.1930E+01	214	-0.1693E+01	-0.6774E+01	0.2748E+01	-0.2061E+01
215	-0.2539E+01	-0.6432E+01	0.2490E+01	-0.1794E+01	216	-0.3580E+01	-0.6559E+01	0.2422E+01	-0.1693E+01
217	-0.3462E+01	-0.6089E+01	0.2570E+01	-0.1910E+01	218	-0.6704E+01	-0.5320E+01	0.2586E+01	-0.2028E+01
219	-0.4447E+01	-0.5813E+01	0.2409E+01	-0.2052E+01	220	-0.2592E+01	-0.7037E+01	0.1731E+01	-0.2405E+01
221	-0.2452E+01	-0.6478E+01	0.2178E+01	-0.1786E+01	222	-0.3335E+01	-0.6663E+01	0.2224E+01	-0.1926E+01
223	-0.9921E+01	-0.5316E+01	-0.7998E-01	-0.3047E+01	224	-0.9910E+01	-0.5026E+01	0.2317E+01	-0.2000E+01
225	-0.9805E+01	-0.5004E+01	-0.4477E-01	-0.2962E+01	226	-0.1000E+02	-0.5049E+01	-0.6704E-02	-0.2987E+01
227	-0.8853E+01	-0.4926E+01	0.3509E+00	-0.2756E+01	228	-0.9560E+01	-0.4943E+01	-0.2376E-01	-0.3010E+01
229	-0.9803E+01	-0.4921E+01	-0.3536E-02	-0.2945E+01	230	-0.9272E+01	-0.4937E+01	0.6256E-01	-0.2901E+01
231	-0.9690E+01	-0.4892E+01	0.9490E-01	-0.2916E+01	232	-0.9297E+01	-0.5035E+01	0.2217E+00	-0.2842E+01
233	-0.7807E+01	-0.5030E+01	0.1114E+01	-0.2567E+01	234	-0.6894E+01	-0.5241E+01	0.1973E-01	-0.2866E+01
235	-0.6930E+01	-0.5387E+01	0.9582E+00	-0.2463E+01	236	-0.7811E+01	-0.5046E+01	0.1698E+01	-0.2427E+01
237	-0.8478E+01	-0.5099E+01	0.2054E+00	-0.2715E+01	238	-0.8455E+01	-0.5007E+01	0.6543E+00	-0.2571E+01
239	-0.9070E+01	-0.4886E+01	0.3195E+00	-0.2791E+01	240	-0.6191E+01	-0.5438E+01	0.4726E+00	-0.2692E+01
241	-0.6210E+01	-0.5514E+01	0.1967E+01	-0.2345E+01	242	-0.5788E+01	-0.5409E+01	0.1546E+01	-0.2326E+01
243	-0.4830E+01	-0.5787E+01	0.2301E+01	-0.2123E+01	244	-0.4851E+01	-0.5869E+01	0.1891E+01	-0.2239E+01
245	-0.4181E+01	-0.6150E+01	0.2336E+01	-0.2066E+01	246	-0.4140E+01	-0.5986E+01	0.1748E+01	-0.2144E+01
247	-0.1714E+01	-0.6856E+01	0.2088E+01	-0.1714E+01	248	-0.3998E+01	-0.6104E+01	0.2154E+01	-0.2025E+01
249	-0.3274E+01	-0.6417E+01	0.2049E+01	-0.1938E+01	250	-0.3219E+01	-0.6758E+01	0.2172E+01	-0.2020E+01
251	-0.3124E+01	-0.6379E+01	0.2006E+01	-0.1901E+01	252	-0.2494E+01	-0.7074E+01	0.1968E+01	-0.1995E+01
253	-0.2389E+01	-0.6654E+01	0.1890E+01	-0.1809E+01	254	-0.5769E+01	-0.5333E+01	0.1925E+01	-0.1914E+01
255	-0.3957E+01	-0.5940E+01	0.1990E+01	-0.1979E+01	256	-0.1003E+02	-0.5178E+01	0.1470E+01	-0.2220E+01
257	-0.1001E+02	-0.5066E+01	-0.1144E+00	-0.3014E+01	258	-0.9914E+01	-0.5043E+01	-0.7422E-01	-0.3041E+01
259	-0.1006E+02	-0.4967E+01	-0.6208E-01	-0.3006E+01	260	-0.1005E+02	-0.4964E+01	-0.9735E-01	-0.2991E+01
261	-0.9827E+01	-0.5019E+01	-0.1166E+00	-0.2969E+01	262	-0.9095E+01	-0.4984E+01	-0.1144E+00	-0.3003E+01
263	-0.9714E+01	-0.4991E+01	-0.1818E-01	-0.2941E+01	264	-0.9572E+01	-0.4916E+01	0.1176E+00	-0.2816E+01
265	-0.9604E+01	-0.5045E+01	-0.8757E-01	-0.2930E+01	266	-0.1006E+02	-0.4924E+01	-0.5361E-02	-0.2898E+01
267	-0.1006E+02	-0.4925E+01	-0.1023E+00	-0.2997E+01	268	-0.6243E+01	-0.5215E+01	0.1211E-01	-0.2996E+01
269	-0.6290E+01	-0.5405E+01	0.1291E+01	-0.2339E+01	270	-0.8188E+01	-0.4941E+01	0.1054E+01	-0.2292E+01
271	-0.7322E+01	-0.5302E+01	0.7044E+00	-0.2525E+01	272	-0.7320E+01	-0.5295E+01	0.5641E+00	-0.2626E+01
								0.4103E+00	-0.2523E+01

275	-0.7470E+01	-0.4876E+01	0.1228E+00	-0.2077E+01	276	-0.8878E+01	-0.4959E+01	0.1190E+00	-0.2787E+01
277	-0.4467E+01	-0.6054E+01	0.1802E+00	-0.2105E+01	278	-0.4394E+01	-0.5755E+01	0.1738E+01	-0.2030E+01
279	-0.5321E+01	-0.5857E+01	0.1136E+01	-0.2236E+01	280	-0.5333E+01	-0.5906E+01	0.1411E+01	-0.2248E+01
281	-0.1726E+01	-0.6705E+01	0.1798E+01	-0.1726E+01	282	-0.3742E+01	-0.6356E+01	0.1674E+01	-0.2020E+01
283	-0.3761E+01	-0.6429E+01	0.1801E+01	-0.2038E+01	284	-0.3024E+01	-0.6554E+01	0.1591E+01	-0.1916E+01
285	-0.3634E+01	-0.6397E+01	0.1727E+01	-0.2006E+01	286	-0.3089E+01	-0.6815E+01	0.1770E+01	-0.1981E+01
287	-0.2474E+01	-0.7108E+01	0.1646E+01	-0.1916E+01	288	-0.2353E+01	-0.6624E+01	0.1626E+01	-0.1795E+01
289	-0.3615E+01	-0.6324E+01	0.1601E+01	-0.1988E+01	290	-0.3042E+01	-0.6851E+01	0.1456E+01	-0.1979E+01
291	-0.2964E+01	-0.6540E+01	0.1542E+01	-0.1901E+01	292	-0.9995E+01	-0.5052E+01	-0.5195E-01	-0.3009E+01
293	-0.1005E+02	-0.4994E+01	-0.5152E-01	-0.3009E+01	294	-0.1017E+02	-0.5024E+01	-0.6852E-01	-0.3039E+01
295	-0.1006E+02	-0.5016E+01	-0.1033E+00	-0.3016E+01	296	-0.1007E+02	-0.5019E+01	-0.5096E-01	-0.3019E+01
297	-0.1009E+02	-0.5039E+01	-0.1057E+00	-0.3026E+01	298	-0.1045E+02	-0.4973E+01	-0.1809E-01	-0.3084E+01
299	-0.1033E+02	-0.4942E+01	-0.1034E+00	-0.3054E+01	300	-0.9522E+01	-0.5024E+01	0.4056E-01	-0.2909E+01
301	-0.1009E+02	-0.5038E+01	0.8720E-02	-0.3025E+01	302	-0.1054E+02	-0.4928E+01	-0.9585E-01	-0.3095E+01
303	-0.1061E+02	-0.4944E+01	0.3227E-01	-0.3110E+01	304	-0.1008E+02	-0.5058E+01	-0.9159E-01	-0.3028E+01
305	-0.1005E+02	-0.4917E+01	-0.8426E-01	-0.2992E+01	306	-0.5720E+01	-0.5652E+01	0.9263E+00	-0.3274E+01
307	-0.5709E+01	-0.5610E+01	0.4165E+00	-0.2264E+01	308	-0.5046E+01	-0.5789E+01	0.1087E+01	-0.2167E+01
309	-0.7028E+01	-0.5229E+01	0.6977E+00	-0.2451E+01	310	-0.7026E+01	-0.5222E+01	0.4036E+00	-0.2450E+01
311	-0.7957E+01	-0.5073E+01	0.1690E+00	-0.2606E+01	312	-0.7977E+01	-0.5152E+01	0.6336E-01	-0.2626E+01
313	-0.8757E+01	-0.4929E+01	0.2305E+00	-0.2737E+01	314	-0.8785E+01	-0.5041E+01	0.1110E+00	-0.2765E+01
315	-0.9455E+01	-0.5059E+01	-0.7422E-01	-0.2903E+01	316	-0.1004E+02	-0.4915E+01	0.5748E-01	-0.2991E+01
317	-0.9420E+01	-0.4918E+01	-0.4258E-01	-0.2868E+01	318	-0.4098E+01	-0.6237E+01	0.1482E+01	-0.2067E+01
319	-0.4073E+01	-0.6138E+01	0.1156E+01	-0.2042E+01	320	-0.5059E+01	-0.5838E+01	0.1362E+01	-0.2179E+01
321	-0.1735E+01	-0.6939E+01	0.1519E+01	-0.1735E+01	322	-0.3562E+01	-0.6470E+01	0.1384E+01	-0.2007E+01
323	-0.3517E+01	-0.6289E+01	0.1324E+01	-0.1961E+01	324	-0.2324E+01	-0.6727E+01	0.1363E+01	-0.1810E+01
325	-0.2423E+01	-0.7126E+01	0.1379E+01	-0.1910E+01	326	-0.2911E+01	-0.6654E+01	0.1085E+01	-0.1913E+01
327	-0.2969E+01	-0.6897E+01	0.1243E+01	-0.1971E+01	328	-0.3502E+01	-0.6455E+01	0.1203E+01	-0.1992E+01
329	-0.3457E+01	-0.6274E+01	0.1143E+01	-0.1946E+01	330	-0.1007E+02	-0.5057E+01	0.5015E-01	-0.3026E+01
331	-0.1065E+02	-0.4924E+01	-0.8294E-01	-0.3115E+01	332	-0.4832E+01	-0.5800E+01	0.7045E+00	-0.2126E+01
333	-0.5524E+01	-0.5805E+01	0.2310E+00	-0.2266E+01	334	-0.5460E+01	-0.5548E+01	0.4070E+00	-0.2201E+01
335	-0.4726E+01	-0.5773E+01	0.4799E+00	-0.2100E+01	336	-0.4888E+01	-0.6024E+01	0.8106E+00	-0.2183E+01
337	-0.3914E+01	-0.6099E+01	0.1081E+01	-0.2003E+01	338	-0.6816E+01	-0.5362E+01	0.3193E-01	-0.2436E+01
339	-0.6832E+01	-0.5425E+01	0.3193E-01	-0.2451E+01	340	-0.7851E+01	-0.5047E+01	0.2481E+00	-0.2580E+01
341	-0.7871E+01	-0.5126E+01	0.1425E+00	-0.2599E+01	342	-0.9388E+01	-0.4910E+01	0.9836E-01	-0.2860E+01
343	-0.8682E+01	-0.4971E+01	-0.5438E-01	-0.2731E+01	344	-0.8709E+01	-0.5080E+01	-0.5438E-01	-0.2758E+01
345	-0.9423E+01	-0.5051E+01	0.6673E-01	-0.2895E+01	346	-0.1067E+02	-0.4929E+01	0.6434E-01	-0.3119E+01
347	-0.1007E+02	-0.5064E+01	-0.7480E-01	-0.3027E+01	348	-0.1003E+02	-0.4915E+01	-0.7480E-01	-0.2989E+01
349	-0.3974E+01	-0.6339E+01	0.9684E+00	-0.2063E+01	350	-0.1743E+01	-0.6970E+01	0.1263E+01	-0.1743E+01
351	-0.2412E+01	-0.7154E+01	0.1125E+01	-0.1913E+01	352	-0.2303E+01	-0.6717E+01	0.1116E+01	-0.1804E+01
353	-0.2858E+01	-0.6641E+01	0.1040E+01	-0.1900E+01	354	-0.2930E+01	-0.6927E+01	0.9588E+00	-0.1971E+01
355	-0.3397E+01	-0.6615E+01	0.8863E+00	-0.2002E+01	356	-0.3374E+01	-0.6520E+01	0.8426E+00	-0.1979E+01
357	-0.4782E+01	-0.5998E+01	0.5860E+00	-0.2156E+01	358	-0.4632E+01	-0.6091E+01	0.4927E-01	-0.2145E+01
359	-0.4657E+01	-0.6189E+01	0.4927E-01	-0.2169E+01	360	-0.3725E+01	-0.6280E+01	0.3016E+00	-0.2001E+01
361	-0.3794E+01	-0.6297E+01	0.3792E+00	-0.2018E+01	362	-0.3825E+01	-0.6424E+01	0.6246E+00	-0.2050E+01
363	-0.3330E+01	-0.6509E+01	0.7477E+00	-0.1968E+01	364	-0.1751E+01	-0.7005E+01	0.1013E+01	-0.1751E+01
365	-0.2284E+01	-0.6825E+01	0.8822E+00	-0.1822E+01	366	-0.2370E+01	-0.7170E+01	0.8893E+00	-0.1908E+01
367	-0.3354E+01	-0.6604E+01	0.7914E+00	-0.1992E+01	368	-0.2825E+01	-0.6714E+01	0.6658E+00	-0.1908E+01
369	-0.2885E+01	-0.6952E+01	0.7871E+00	-0.1967E+01	370	-0.3776E+01	-0.6483E+01	0.1445E+00	-0.2052E+01
371	-0.3254E+01	-0.6643E+01	0.3594E-01	-0.1979E+01	372	-0.3302E+01	-0.6444E+01	0.4737E+00	-0.1949E+01
373	-0.3286E+01	-0.6440E+01	0.3044E+00	-0.1945E+01	374	-0.3345E+01	-0.6613E+01	0.4896E+00	-0.1991E+01
375	-0.2811E+01	-0.6710E+01	0.6204E+00	-0.1904E+01	376	-0.1757E+01	-0.7027E+01	0.7821E+00	-0.1757E+01
377	-0.2378E+01	-0.7190E+01	0.6605E+00	-0.1914E+01	378	-0.2276E+01	-0.6779E+01	0.6578E+00	-0.1811E+01
379	-0.2875E+01	-0.6966E+01	0.5178E+00	-0.1968E+01	380	-0.3272E+01	-0.6715E+01	0.3594E-01	-0.1997E+01
381	-0.2776E+01	-0.6757E+01	0.1721E+00	-0.1907E+01	382	-0.3329E+01	-0.6609E+01	0.3204E+00	-0.1987E+01
383	-0.2793E+01	-0.6762E+01	0.2057E+00	-0.1911E+01	384	-0.2849E+01	-0.6984E+01	0.3298E+00	-0.1966E+01
385	-0.2266E+01	-0.6849E+01	0.4304E+00	-0.1823E+01	386	-0.1760E+01	-0.7042E+01	0.5498E+00	-0.1760E+01
387	-0.2353E+01	-0.7178E+01	0.4328E+00	-0.1910E+01	388	-0.2833E+01	-0.6985E+01	0.8017E-01	-0.1946E+01
389	-0.2270E+01	-0.6949E+01	0.5292E-01	-0.1844E+01	390	-0.2259E+01	-0.6818E+01	0.2057E+00	-0.1815E+01
391	-0.1765E+01	-0.7059E+01	0.3284E+00	-0.1765E+01	392	-0.2360E+01	-0.7222E+01	0.2060E+00	-0.1916E+01

 * CONTRAINTES (N,T) POUR LES NOEUDS DE CONTACT

ZONE NO	1 CONTRAINTES	1 ANGLE (OX,N)	-0.900E+02	
NOEUD	NORMALE	CISAILLEMENT	TANGENTIELLE	MODULE
1	-0.11144E-01	0.44737E-01	0.00000E+00	0.44737E-01
3	-0.17201E+00	-0.11550E+00	0.00000E+00	0.11550E+00
5	-0.50089E+00	-0.62815E+00	0.00000E+00	0.62815E+00
6	-0.12598E+01	-0.12875E+01	0.00000E+00	0.12875E+01
7	-0.19812E+01	-0.17978E+01	0.00000E+00	0.17978E+01
13	-0.25128E+01	-0.22243E+01	0.00000E+00	0.22243E+01
15	-0.29395E+01	-0.26175E+01	0.00000E+00	0.26175E+01
16	-0.32960E+01	-0.29639E+01	0.00000E+00	0.29639E+01
17	-0.36080E+01	-0.32773E+01	0.00000E+00	0.32773E+01
27	-0.38887E+01	-0.35535E+01	0.00000E+00	0.35535E+01
30	-0.41553E+01	-0.38129E+01	0.00000E+00	0.38129E+01
31	-0.44059E+01	-0.40504E+01	0.00000E+00	0.40504E+01
32	-0.46479E+01	-0.42793E+01	0.00000E+00	0.42793E+01
45	-0.48885E+01	-0.44902E+01	0.00000E+00	0.44902E+01
48	-0.51383E+01	-0.46989E+01	0.00000E+00	0.46989E+01
49	-0.53988E+01	-0.48879E+01	0.00000E+00	0.48879E+01
50	-0.56718E+01	-0.50463E+01	0.00000E+00	0.50463E+01
65	-0.59520E+01	-0.50701E+01	0.00000E+00	0.50701E+01
69	-0.62006E+01	-0.47769E+01	0.00000E+00	0.47769E+01
83	-0.64282E+01	-0.41131E+01	0.00000E+00	0.41131E+01
87	-0.66103E+01	-0.34941E+01	0.00000E+00	0.34941E+01
100	-0.67256E+01	-0.30038E+01	0.00000E+00	0.30038E+01
115	-0.68118E+01	-0.25967E+01	0.00000E+00	0.25967E+01
132	-0.68886E+01	-0.22448E+01	0.00000E+00	0.22448E+01
150	-0.69448E+01	-0.19372E+01	0.00000E+00	0.19372E+01
170	-0.69839E+01	-0.16545E+01	0.00000E+00	0.16545E+01
191	-0.70117E+01	-0.13870E+01	0.00000E+00	0.13870E+01
206	-0.70434E+01	-0.11334E+01	0.00000E+00	0.11334E+01
214	-0.70678E+01	-0.89483E+00	0.00000E+00	0.89483E+00
221	-0.70863E+01	-0.66415E+00	0.00000E+00	0.66415E+00
226	-0.70996E+01	-0.43700E+00	0.00000E+00	0.43700E+00
229	-0.71234E+01	-0.21363E+00	0.00000E+00	0.21363E+00

 * REACTIONS SUR LES NOEUDS BLOQUES

NOEUD NO : 197 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -20.2835
 NOEUD NO : 200 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -34.1198
 NOEUD NO : 201 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -39.0901
 NOEUD NO : 202 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -43.4789
 NOEUD NO : 203 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -46.9780
 NOEUD NO : 204 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -50.2511
 NOEUD NO : 205 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -26.8579
 NOEUD NO : 210 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -11.6120
 NOEUD NO : 211 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -6.96535
 NOEUD NO : 217 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -4.07891
 NOEUD NO : 223 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -3.48650

 * DEPLACEMENTS, FORCES ET DENSITES DE FORCES EXPRIMES EN REPERES LOCAUX (NORMALE,TANGENTE)
 A PARTIR DES RESIDUS, POUR LES NOEUDS DE CONTACT
 ZONE REFERENCE 1

NOEUD	ANGLE-----	DEPLACEMENT-----		FORCE-----		DENSITE DE FORCE-----	
		NORMAL	TANGENTIEL	NORMALE	TANGENTIELLE	NORMALE	TANGENTIELLE
1	-0.9000D+02	-0.5704D-03	0.1466D-01	0.3316D-03	-0.1176D-03	0.5306D-03	-0.1881D-03
3	-0.9000D+02	-0.2713D-03	0.1375D-01	0.2317D-03	-0.8391D-03	0.1854D-03	-0.6713D-03
5	-0.9000D+02	-0.4883D-04	0.1282D-01	-0.1468D-03	-0.3358D-03	-0.1174D-03	-0.2686D-03
6	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.1179D-01	-0.1156D-01	-0.1159D+01	-0.9246D+00	-0.9272D+00
7	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.1073D-01	-0.2156D+01	-0.2155D+01	-0.1725D+01	-0.1724D+01
13	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.9677D-02	-0.2833D+01	-0.2832D+01	-0.2267D+01	-0.2265D+01
15	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.8646D-02	-0.3400D+01	-0.3399D+01	-0.2720D+01	-0.2719D+01
16	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.7646D-02	-0.3871D+01	-0.3870D+01	-0.3097D+01	-0.3096D+01
17	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.6682D-02	-0.4291D+01	-0.4290D+01	-0.3433D+01	-0.3432D+01
27	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.5756D-02	-0.4657D+01	-0.4656D+01	-0.3726D+01	-0.3725D+01
30	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.4871D-02	-0.5008D+01	-0.5008D+01	-0.4007D+01	-0.4006D+01
31	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.4030D-02	-0.5329D+01	-0.5329D+01	-0.4263D+01	-0.4263D+01
32	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.3238D-02	-0.5644D+01	-0.5644D+01	-0.4518D+01	-0.4518D+01
45	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.2497D-02	-0.5948D+01	-0.5949D+01	-0.4759D+01	-0.4759D+01
48	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.1814D-02	-0.6269D+01	-0.6270D+01	-0.5015D+01	-0.5016D+01
49	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.1198D-02	-0.6607D+01	-0.6609D+01	-0.5286D+01	-0.5287D+01
50	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.6653D-03	-0.6994D+01	-0.6995D+01	-0.5595D+01	-0.5596D+01
65	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.2425D-03	-0.7504D+01	-0.7506D+01	-0.6003D+01	-0.6005D+01
69	-0.9000D+02	0.0000D+00	-0.2858D-23	-0.8163D+01	-0.7596D+01	-0.6530D+01	-0.6077D+01
83	-0.9000D+02	0.0000D+00	-0.2070D-24	-0.8595D+01	-0.5072D+01	-0.6876D+01	-0.4058D+01
87	-0.9000D+02	0.0000D+00	-0.1137D-25	-0.8676D+01	-0.4332D+01	-0.6941D+01	-0.3465D+01
100	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.2058D-25	-0.8750D+01	-0.3727D+01	-0.7000D+01	-0.2782D+01
115	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.4120D-26	-0.8799D+01	-0.3225D+01	-0.7039D+01	-0.2580D+01
132	-0.9000D+02	0.0000D+00	-0.5982D-26	-0.8865D+01	-0.2787D+01	-0.7092D+01	-0.2229D+01
150	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.4890D-27	-0.8903D+01	-0.2410D+01	-0.7122D+01	-0.1928D+01
170	-0.9000D+02	0.0000D+00	-0.6500D-26	-0.8943D+01	-0.2060D+01	-0.7154D+01	-0.1648D+01
191	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.2822D-26	-0.8961D+01	-0.1726D+01	-0.7169D+01	-0.1381D+01
206	-0.9000D+02	0.0000D+00	-0.1846D-26	-0.8995D+01	-0.1409D+01	-0.7196D+01	-0.1127D+01
214	-0.9000D+02	0.0000D+00	-0.1153D-25	-0.9011D+01	-0.1113D+01	-0.7209D+01	-0.8907D+00
221	-0.9000D+02	0.0000D+00	-0.8648D-27	-0.9035D+01	-0.8268D+00	-0.7228D+01	-0.6614D+00
226	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.1137D-25	-0.9044D+01	-0.5423D+00	-0.7235D+01	-0.4338D+00
229	-0.9000D+02	0.0000D+00	0.8212D-26	-0.9074D+01	-0.2599D+00	-0.7259D+01	-0.2079D+00

SOMME DES FORCES NORMALES : -0.19348E+03
 SOMME DES FORCES TANGENTIELLES : -0.10876E+03
 SOMME DES DENSITES NORMALES : -0.15638E+03
 SOMME DES DENSITES TANGENTIELLES : -0.87007E+02

* NOMS DES FICHIERS RESULTATS :

DEPLACEMENTS : TG18S.DAT
 CONTRAINTES : TG1TAES.DAT

FIN DU MODULE RESOLV



IX - 3 : fichier de données pour la méthode SORP condensée.

```

10          * NIVEAU DE SAVARDAGE
* NOM GENERIQUE DES FICHIERS :

T81'
F          * CONSERVATION DES S.D. INTERMEDIAIRES
          * FICHER DE LA S.D. NOFO :
[LATIL.MAILLAGES]TG1.NOFO'
F          * AXISYM, PROBLEME D'ELASTICITE PLANE
* *** DESCRIPTION DES CONDITIONS AUX LIMITES :
1          * NOMBRE DE REFERENCES DE BLOCAGES EN X
0          * NOMBRE DE REFERENCES DE BLOCAGES EN Y
          * NUMEROS DE REFERENCE BLOQUES EN X :
2
T          * CLIMNN
0          * NOMBRE DE REFERENCES A DEPLACEMENT IMPOSE
1          * NOMBRE DE NOEUDS DECRITS ISOLEMENT
230        * NUMERO DU NOEUD
0.10000E+16 * DEPLACEMENT IMPOSE EN X
0.00000E+00 * DEPLACEMENT IMPOSE EN Y
* *** DESCRIPTION DU CONTACT :
T          * CDUNIL, EXISTENCE DU CONTACT
1          * NOMBRE DE REFERENCES DE CONTACT
          * NUMEROS DE REFERENCE DE CONTACT :
1
F          * MANQUE
          * VALEURS DES ANGLES (OX,N) PAR ZONES :
-0.90000E+02 * ANGLE (OX,N) POUR LA REFERENCE 1
          * VALEURS DES VCU LIMITES N PAR ZONES :
0.00000E+00 * LIMITE NORMALE POUR LA REFERENCE 1
* *** DESCRIPTION DU FROTTEMENT :
1          * NOMBRE DE REFERENCES DE FROTTEMENT
          * COEFFICIENTS DE FROTTEMENT :
0.10000E+01 * COEFFICIENT DE FROTTEMENT POUR LA REFERENCE 1
0          * CIFR, LOI DE FROTTEMENT : COULOMB
* *** CARACTERISTIQUES PHYSIQUES :
2          * OPTION ELASTICITE (1- C.P., 2- D.P.)
0.13000E+05 * MODULE D'YOUNG MATERIAU 1
0.20000E+00 * COEFFICIENT DE POISSON MATERIAU 1
* *** CHARGEMENTS SURFACIQUES :
T          * EXISTENCE DE DENSITES SURFACIQUES DE FORCES
2          * NOMBRE DE REFERENCES DE CHARGEMENTS
          * NUMEROS DE REFERENCE DES CHARGEMENTS SURFACIQUES :
3          4
T          * DENSITE DE FORCE (X,Y) SI .TRUE., SINDN (N,T),
          * POUR LA REFERENCE 3
0.10000E+02 * DENSITE EN X,
0.00000E+00 * DENSITE EN Y
T          * DENSITE DE FORCE (X,Y) SI .TRUE., SINDN (N,T),
          * POUR LA REFERENCE 4
0.00000E+00 * DENSITE EN X,
-0.50000E+01 * DENSITE EN Y
* *** OPTIONS DE LA RESOLUTION :
T          * ASSEMBLAGE PROFIL DE LA MATRICE
3          * IRESOL, METHODE DE RESOLUTION :
          * METHODE GAUSS-SEIDEL SURRELAXEE CONDENSEE
0.16620E+01 * OMEGA, COEFFICIENT DE SURRELAXATION
0.50000E-05 * EPSILON CONVERGENCE GAUSS-SEIDEL
0          * MITER, MAX ITERATIONS
T          * IMPRESSION DE CONTRAINTES ELEMENTAIRES

```

IX - 4 : sortie imprimante SORP condensée.

```

M  M      000      0000      U  U  L      EEEEE FFFFF
MM MM      0  0  D  D  U  U  L      E      F
M  M  M      0  0  D  D  U  U  L      EEEE  FFFF
M  M  M      0  0  D  D  U  U  L      E      F
M  M      000      0000      UUU  LLLLL EEEEE  F      VERSION 89

```

```

DATE   : 28/05/91
HEURE  : 15:21:30
AUTEUR : LATIL

```

```

GGGG Y  Y  PFFP TTTT II  SSSS
G      Y Y  P  P  T  II  S
G GG      Y  PFFP  T  II  SSS
G  G  Y  P      T  II  S
GGG      Y  P      T  II  SSSS
***** GYPTIS VERSION 1.0 *****

```

```

*****
*
*      LABORATOIRE DE MECANIQUE ET D'ACOUSTIQUE
*      CNRS MARSEILLE
*      EQUIPE MECANIQUE ET METHODES NUMERIQUES
*
*****

```

RESOLUTION ELEMENTS FINIS D'UN PROBLEME DE CONTACT/FROTTEMENT

```

-----
GYPTIS : MISE EN DONNEES
-----

```

```

+++++
* Test GRECO 1 : contact avec frottement, G.-S. condense
-----

```

* NOM DU FICHIER DU MAILLAGE (S.D. NOPO DE NIVEAU 0) :

[LATIL.MAILLAGES]TG1.NOP0

* NOM GENERIQUE DES FICHIERS DU PROBLEME :
TG1

```

*****
CONSSD : DESCRIPTION DES CONDITIONS AUX LIMITES

```

 * DESCRIPTION DES CONDITIONS AUX LIMITES

NB NOMBRE DE NOEUDS SUPPORTANT DES CONDITIONS AUX LIMITES 13

LISTE DE CES NOEUDS :

197 200 201 202 203 204 205 210 211 217 223 227 230

-- BLOCAGES EN X :

REFERENCE 2 DEPLACEMENT IMPOSE 0.00000E+00

-- NOEUDS SUPPORTANT DES CONDITIONS AUX LIMITES HORS REFERENCES :

NOEUD 230 DEPLACEMENT IMPOSE EN Y 0.00000E+00

-- DESCRIPTION DE L'ENSEMBLE DES CONDITIONS AUX LIMITES :

NOEUD 197 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 200 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 201 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 202 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 203 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 204 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 205 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 210 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 211 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 217 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 223 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 227 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 230 DEPLACEMENT IMPOSE EN X 0.00000E+00
 NOEUD 230 DEPLACEMENT IMPOSE EN Y 0.00000E+00

CONSSD : DESCRIPTION DU CONTACT

* NOEUDS TRAITES EN REPERE LOCAL (NORMALE,TANGENTE)

NOMBRE DE ZONES DE CONTACT 1
 NOMBRE DE NOEUDS DE CONTACT 32
 NOMBRE DE ZONES DE FROTTEMENT 1
 NOMBRE DE NOEUDS DE FROTTEMENT 32

ZONE 1 REFERENCE 1 ANGLE (OX,N) -90.0 CONTACT ET FROTTEMENT
 ----- NOMBRE DE NOEUDS 32
 NUMEROS DES NOEUDS : 1 3 5 6 7 13 15 16
 17 27 30 31 32 45 48 49 50 65 69 83 87
 100 115 132 150 170 191 206 214 221 226 229

CONTACT SYMETRIQUE

FAS DU MAILLAGE 1.2500

NOEUDS EXTREMES DE LA ZONE : PREMIER : 1 NOEUD DE BORD
 DERNIER : 229 NOEUD NON DE BORD

FIN DU MODULE CONSSD

COSECM : DESCRIPTION DES CHARGEMENTS, MATRICES ELEMENTAIRES
SECOND MEMBRE NATUREL B-D

* VALEURS INITIALES

PROPRIETES CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX :
MATERIAU E NU

1 0.13000E+05 0.20000E+00

* LOI DE COMPORTEMENT : DEFORMATIONS PLANES

* CHARGEMENTS SURFACIQUES : DENSITES DE FORCES NODALES IMPOSEES :

FRONTIERE GAMMA - 1 DE REFERENCE : 3
DENSITE (X,Y) : 0.100000E+02 0.000000E+00

FRONTIERE GAMMA - 2 DE REFERENCE : 4
DENSITE (X,Y) : 0.000000E+00 -0.500000E+01

FORCES NODALES IMPOSEES :

NODEUD NO	F X	F Y
1	0.62500E+01	
2	0.12500E+02	
8	0.12500E+02	
18	0.12500E+02	
33	0.18750E+02	
51	0.25000E+02	
70	0.37500E+02	
88	0.50000E+02	
104	0.50000E+02	
121	0.50000E+02	
138	0.50000E+02	
156	0.50000E+02	
175	0.25000E+02	-0.12500E+02
176		-0.25000E+02
177		-0.25000E+02
178		-0.25000E+02
179		-0.25000E+02
180		-0.25000E+02
182		-0.25000E+02
195		-0.25000E+02
205		-0.12500E+02

 * Test GRECO 1 : contact avec frottement, G.-S. condense

 MODULE ASSMAT : RESOLUTION D'UN PROBLEME DE CONTACT/FROTTEMENT
 MATRICE ET SECOND MEMBRE POUR LA RESOLUTION

MATRICE DE RIGIDITE
 OPTION DE STOCKAGE DE LA MATRICE : PROFIL
 NOMBRE DE COEFFICIENTS STOCKES 13350
 DEMI-LARGEUR DE BANDE (EN D.-L.) 46

FIN DU MODULE ASSMAT

* Test GRECO 1 : contact avec frottement, G.-5. condense

MODULE RESOLC : RESOLUTION PAR LA METHODE G.-S. CONDENSEE

```
*****  
* RESOLUTION DU SYSTEME LINEAIRE                                METHODE DE CONDENSATION  
COEFFICIENT DE SURRELAXATION                                0.166200E+01  
TOLERANCE SUR LA CONVERGENCE                               0.500000E-05  
NOMBRE MINIMUM D'ITERATIONS                                 64  
NOMBRE MAXIMUM D'ITERATIONS                                 690
```

----- RESULTATS DES ITERATIONS -----

75

16	0.4421046D+02	0.1368051D+00
17	0.4298095D+02	0.1266608D+00
18	0.4046419D+02	0.1127422D+00
19	0.3743045D+02	0.9752192D-01
20	0.3405735D+02	0.8036907D-01
21	0.3097357D+02	0.6490896D-01
22	0.2938842D+02	0.5515886D-01
23	0.2814613D+02	0.4564479D-01
24	0.2706506D+02	0.3666215D-01
25	0.2614672D+02	0.2986330D-01
26	0.2593298D+02	0.2353414D-01
27	0.2566370D+02	0.1779460D-01
28	0.2556679D+02	0.1353988D-01
29	0.2575969D+02	0.9669843D-02
30	0.2572781D+02	0.6213124D-02
31	0.2592875D+02	0.4414130D-02

*** REACTUALISATION 3

EPSILON FROTTEMENT =	SEUILS DE GLISSEMENT ACTUALISES :
0.412279E+00	0.100000E-02
0.432701E+01	0.541114E-01
0.809843E+01	0.575066E+01
0.892704E+01	0.836868E+01
	0.901639E+01
32	0.2431980D+02
33	0.2897597D+02
34	0.3363343D+02
35	0.3647277D+02
36	0.3727968D+02
37	0.3659924D+02
38	0.3552166D+02
39	0.3482203D+02
40	0.3466406D+02
41	0.3492602D+02
42	0.3497731D+02
43	0.3485895D+02

*** REACTUALISATION 4

EPSILON FROTTEMENT =	SEUILS DE GLISSEMENT ACTUALISES :
0.621223E-02	0.500000E-03
0.357647E+01	0.143140E+01
0.727196E+01	0.447269E+01
0.889617E+01	0.842164E+01
	0.860884E+01
	0.867535E+01
	0.874712E+01
	0.879438E+01
	0.885952E+01
	0.895264E+01
44	0.3437580D+02
45	0.3365831D+02
46	0.3282385D+02
47	0.3198252D+02
48	0.3170419D+02
49	0.3172677D+02
50	0.3197070D+02
51	0.3212264D+02
52	0.3214032D+02
53	0.3210659D+02

*** REACTUALISATION 5

EPSILON FROTTEMENT =	SEUILS DE GLISSEMENT ACTUALISES :
0.517788E-01	0.100000E-03
0.436541E+01	0.858092E-02
0.692630E+01	0.498789E+01
0.890117E+01	0.819938E+01
	0.859389E+01
	0.867343E+01
	0.874755E+01
	0.879711E+01
	0.886346E+01
	0.895968E+01
	0.899393E+01
	0.901034E+01
	0.903466E+01
	0.904304E+01
	0.907317E+01

56	0.3293873D+02	0.2057209D-02
57	0.3290850D+02	0.2085805D-02
58	0.3271807D+02	0.1195989D-02
59	0.3252677D+02	0.8878519D-03
60	0.3248887D+02	0.8722781D-03
61	0.3250058D+02	0.6724135D-03
62	0.3251464D+02	0.3682309D-03
63	0.3251984D+02	0.1758785D-03
64	0.3252378D+02	0.9910804D-04

*** REACTUALISATION 6

EPSILON FROTTEMENT =		SEUILS DE GLISSEMENT ACTUALISES :					
0.207901E-03	0.320244E-02	0.176489E-02	0.108044E+01	0.204730E+01	0.277924E+01	0.340411E+01	0.391197E+01
0.434901E+01	0.471932E+01	0.506658E+01	0.537939E+01	0.567931E+01	0.596631E+01	0.626841E+01	0.658971E+01
0.696415E+01	0.747566E+01	0.815089E+01	0.859401E+01	0.867593E+01	0.874995E+01	0.879937E+01	0.886543E+01
0.890298E+01	0.894333E+01	0.896120E+01	0.899530E+01	0.901161E+01	0.903583E+01	0.904417E+01	0.907422E+01
65	0.3254017D+02	0.7788590D-03					
66	0.3253341D+02	0.5382774D-03					
67	0.3257712D+02	0.3856352D-03					
68	0.3260821D+02	0.2345421D-03					
69	0.3264861D+02	0.3439061D-03					
70	0.3266737D+02	0.3291269D-03					
71	0.3265407D+02	0.2158394D-03					
72	0.3262495D+02	0.1078475D-03					
73	0.3262292D+02	0.5050303D-04					
74	0.3262691D+02	0.4083142D-04					

*** REACTUALISATION 7

EPSILON FROTTEMENT =		SEUILS DE GLISSEMENT ACTUALISES :					
0.550079E-02	0.373459E-02	0.223279E-03	0.120030E+01	0.215554E+01	0.281164E+01	0.337340E+01	0.384778E+01
0.427542E+01	0.464846E+01	0.500776E+01	0.533623E+01	0.565559E+01	0.596180E+01	0.628197E+01	0.661779E+01
0.699843E+01	0.750138E+01	0.815948E+01	0.859462E+01	0.867597E+01	0.874988E+01	0.879916E+01	0.886514E+01
0.890262E+01	0.894291E+01	0.896072E+01	0.899477E+01	0.901105E+01	0.903525E+01	0.904357E+01	0.907362E+01
75	0.3262116D+02	0.2380976D-03					
76	0.3259583D+02	0.1621022D-03					
77	0.3257776D+02	0.1194866D-03					
78	0.3256958D+02	0.1324644D-03					
79	0.3257393D+02	0.1014293D-03					
80	0.3258615D+02	0.6807273D-04					
81	0.3259678D+02	0.5575911D-04					
82	0.3259694D+02	0.5765884D-04					
83	0.3259427D+02	0.3518936D-04					
84	0.3259296D+02	0.1379692D-04					
85	0.3259317D+02	0.5083156D-05					

*** REACTUALISATION 8

EPSILON FROTTEMENT =		SEUILS DE GLISSEMENT ACTUALISES :					
0.934601E-04	0.164032E-03	0.223756E-03	0.115512E+01	0.216510E+01	0.284118E+01	0.340365E+01	0.386998E+01
0.428699E+01	0.465130E+01	0.500239E+01	0.532393E+01	0.564066E+01	0.594684E+01	0.626919E+01	0.660942E+01
0.699665E+01	0.750605E+01	0.816330E+01	0.859468E+01	0.867584E+01	0.874975E+01	0.879903E+01	0.886503E+01
0.890252E+01	0.894282E+01	0.896064E+01	0.899470E+01	0.901098E+01	0.903519E+01	0.904351E+01	0.907357E+01
86	0.3259545D+02	0.5931089D-04					
87	0.3260153D+02	0.4442452D-04					
88	0.3260011D+02	0.4048609D-04					
89	0.3259706D+02	0.3303294D-04					
90	0.3259368D+02	0.1894534D-04					
91	0.3259082D+02	0.2154366D-04					
92	0.3259090D+02	0.1840351D-04					

94 0.3259446D+02 0.4577191D-05

***** REACTUALISATION 9 SUR LE CRITERE SUP DE 6(1) :

SUP SUR LES SEUILS DE GLISSEMENT =			0.114301D-02			SEUILS DE GLISSEMENT ACTUALISES :		
0.109863D-02	0.735283D-03	0.456572D-03	0.115349D+01	0.215473D+01	0.283441D+01	0.340273D+01	0.387354D+01	
0.429319D+01	0.465840D+01	0.500880D+01	0.532869D+01	0.564311D+01	0.594713D+01	0.626757D+01	0.660632D+01	
0.699308D+01	0.750325D+01	0.816223D+01	0.859463D+01	0.867584D+01	0.874975D+01	0.877904D+01	0.886504D+01	
0.890253D+01	0.894282D+01	0.896064D+01	0.899470D+01	0.901098D+01	0.903519D+01	0.904351D+01	0.907357D+01	
95	0.3259404D+02	0.1985142D-04						
96	0.3259436D+02	0.1247971D-04						
97	0.3259592D+02	0.8551783D-05						
98	0.3259668D+02	0.6997024D-05						
99	0.3259645D+02	0.6782320D-05						
100	0.3259573D+02	0.4742242D-05						

***** REACTUALISATION 10 SUR LE CRITERE SUP DE 6(1) :

SUP SUR LES SEUILS DE GLISSEMENT =			0.409067D-03			SEUILS DE GLISSEMENT ACTUALISES :		
0.337601D-03	0.477791D-03	0.563025D-03	0.115721D+01	0.215527D+01	0.283277D+01	0.340030D+01	0.387140D+01	
0.429188D+01	0.465802D+01	0.500919D+01	0.532975D+01	0.564456D+01	0.594863D+01	0.626885D+01	0.660710D+01	
0.699317D+01	0.750271D+01	0.816181D+01	0.859463D+01	0.867586D+01	0.874977D+01	0.877905D+01	0.886505D+01	
0.890254D+01	0.894283D+01	0.896065D+01	0.899471D+01	0.901099D+01	0.903520D+01	0.904352D+01	0.907358D+01	

NOMBRE D'ITERATIONS : 100
 VALEUR MOYENNE DU RESIDU : 0.3259573D+02
 TEST DE CONVERGENCE S1 : 0.4742242D-05

NOMBRE DE REACTUALISATIONS DES SEUILS DE GLISSEMENT : 10

----- VECTEUR RESIDU CONDENSE -----

1 -0.337601E-03	2 -0.324249E-04	3 0.477791E-03	4 0.803947E-03	5 0.563025E-03	6 -0.629425E-04
7 -0.115721E+01	8 -0.115377E+01	9 -0.215527E+01	10 -0.215536E+01	11 -0.283277E+01	12 -0.283490E+01
13 -0.340030E+01	14 -0.340347E+01	15 -0.387140E+01	16 -0.387398E+01	17 -0.429188E+01	18 -0.429323E+01
19 -0.465802E+01	20 -0.465824E+01	21 -0.500919E+01	22 -0.500841E+01	23 -0.532975E+01	24 -0.532822E+01
25 -0.564456E+01	26 -0.564245E+01	27 -0.594863E+01	28 -0.594770E+01	29 -0.626885E+01	30 -0.626766E+01
31 -0.660710E+01	32 -0.660628E+01	33 -0.699317E+01	34 -0.699301E+01	35 -0.750271E+01	36 -0.750334E+01
37 -0.816181E+01	38 -0.760219E+01	39 -0.859463E+01	40 -0.807326E+01	41 -0.867586E+01	42 -0.433248E+01
43 -0.874977E+01	44 -0.372776E+01	45 -0.879905E+01	46 -0.322554E+01	47 -0.886505E+01	48 -0.278719E+01
49 -0.890254E+01	50 -0.241018E+01	51 -0.894283E+01	52 -0.206042E+01	53 -0.896065E+01	54 -0.172657E+01
55 -0.899471E+01	56 -0.140870E+01	57 -0.901099E+01	58 -0.111350E+01	59 -0.903520E+01	60 -0.826856E+00
61 -0.904352E+01	62 -0.542355E+00	63 -0.907358E+01	64 -0.259886E+00		

FIN DU MODULE RESOLC

 * DEPLACEMENTS NODAUX

NOEUD	U(X)	U(Y)	NOEUD	U(X)	U(Y)
1	0.14664E-01	0.56974E-03	2	0.14972E-01	0.80756E-03

5	0.12817E-01	0.48490E-04	8	0.11795E-01	-0.39176E-18
7	0.10734E-01	-0.42799E-18	8	0.15343E-01	0.10331E-02
9	0.13573E-01	0.35849E-03	10	0.14427E-01	0.67577E-03
11	0.12613E-01	0.19472E-03	12	0.11648E-01	0.11149E-03
13	0.96779E-02	-0.44536E-18	14	0.10686E-01	0.58907E-04
15	0.86461E-02	-0.45620E-18	16	0.76460E-02	-0.46127E-18
17	0.66820E-02	-0.46385E-18	18	0.15785E-01	0.12074E-02
19	0.14875E-01	0.82491E-03	20	0.13496E-01	0.41093E-03
21	0.12581E-01	0.23249E-03	22	0.11665E-01	0.11389E-03
23	0.97357E-02	0.12512E-04	24	0.10774E-01	0.17180E-04
25	0.88026E-02	-0.27112E-04	26	0.78957E-02	-0.64870E-04
27	0.57562E-02	-0.46377E-18	28	0.70168E-02	-0.98187E-04
29	0.13989E-01	0.49347E-03	30	0.48718E-02	-0.46351E-18
31	0.40315E-02	-0.46217E-18	32	0.32391E-02	-0.46133E-18
33	0.16273E-01	0.13197E-02	34	0.14520E-01	0.53128E-03
35	0.13088E-01	0.28128E-03	36	0.12223E-01	0.94931E-04
37	0.11358E-01	-0.25652E-04	38	0.98890E-02	-0.60297E-04
39	0.90316E-02	-0.13783E-03	40	0.81898E-02	-0.19914E-03
41	0.61731E-02	-0.13260E-03	42	0.73828E-02	-0.26755E-03
43	0.53667E-02	-0.16480E-03	44	0.46041E-02	-0.19861E-03
45	0.24980E-02	-0.46066E-18	46	0.38874E-02	-0.23084E-03
47	0.10528E-01	-0.15947E-03	48	0.18153E-02	-0.46185E-18
49	0.11993E-02	-0.46493E-18	50	0.66634E-03	-0.47159E-18
51	0.17351E-01	0.13421E-02	52	0.15639E-01	0.52468E-03
53	0.12783E-01	0.51306E-04	54	0.11160E-01	-0.27426E-03
55	0.97010E-02	-0.25165E-03	56	0.89080E-02	-0.35667E-03
57	0.81311E-02	-0.43722E-03	58	0.66011E-02	-0.32761E-03
59	0.58636E-02	-0.39539E-03	60	0.51596E-02	-0.45467E-03
61	0.32245E-02	-0.26746E-03	62	0.45083E-02	-0.52377E-03
63	0.26216E-02	-0.30492E-03	64	0.20897E-02	-0.34931E-03
65	0.24324E-03	-0.48557E-18	66	0.16407E-02	-0.39809E-03
67	0.14003E-01	-0.12521E-03	68	0.73959E-02	-0.54087E-03
69	0.33944E-15	-0.50902E-18	70	0.18433E-01	0.11676E-02
71	0.15153E-01	-0.38810E-03	72	0.12394E-01	-0.54476E-03
73	0.95831E-02	-0.52338E-03	74	0.81363E-02	-0.76174E-03
75	0.66812E-02	-0.62425E-03	76	0.60128E-02	-0.72022E-03
77	0.53767E-02	-0.80890E-03	78	0.39008E-02	-0.59280E-03
79	0.33586E-02	-0.67128E-03	80	0.28719E-02	-0.75379E-03
81	0.12885E-02	-0.46224E-03	82	0.24576E-02	-0.84018E-03
83	0.12896E-17	-0.52890E-18	84	0.10425E-02	-0.52935E-03
85	0.10910E-01	-0.92371E-03	86	0.47955E-02	-0.91321E-03
87	0.47922E-18	-0.53390E-18	88	0.20447E-01	0.48413E-03
89	0.17235E-01	-0.10688E-02	90	0.12079E-01	-0.13516E-02
91	0.94857E-02	-0.12291E-02	92	0.67802E-02	-0.98851E-03
93	0.55933E-02	-0.12327E-02	94	0.42507E-02	-0.10199E-02
95	0.37647E-02	-0.11241E-02	96	0.33228E-02	-0.12372E-02
97	0.21027E-02	-0.93828E-03	98	0.87337E-03	-0.55496E-03
99	0.18097E-02	-0.10064E-02	100	-0.67201E-18	-0.53845E-18
101	0.74851E-03	-0.56827E-03	102	0.81887E-02	-0.15470E-02
103	0.29283E-02	-0.13315E-02	104	0.22203E-01	-0.44820E-03
105	0.14205E-01	-0.22192E-02	106	0.18987E-01	-0.19111E-02
107	0.15882E-01	-0.31500E-02	108	0.93891E-02	-0.21028E-02
109	0.11344E-01	-0.32008E-02	110	0.69698E-02	-0.18720E-02
111	0.45402E-02	-0.14910E-02	112	0.36543E-02	-0.17185E-02
113	0.25711E-02	-0.14422E-02	114	0.15644E-02	-0.10632E-02
115	-0.39725E-18	-0.54148E-18	116	0.64487E-03	-0.57846E-03
117	0.13635E-02	-0.10851E-02	118	0.58844E-02	-0.21650E-02
119	0.22654E-02	-0.15004E-02	120	0.55892E-03	-0.58615E-03
121	0.23616E-01	-0.14960E-02	122	0.20443E-01	-0.28373E-02

125	0.14211E-01	-0.51743E-02	126	0.69776E-02	-0.28378E-02
127	0.87668E-02	-0.39743E-02	128	0.10129E-01	-0.51163E-02
129	0.48922E-02	-0.24614E-02	130	0.28880E-02	-0.19343E-02
131	0.19890E-02	-0.15672E-02	132	0.99292E-18	-0.54554E-18
133	0.11844E-02	-0.11174E-02	134	0.10302E-02	-0.11310E-02
135	0.48202E-03	-0.59325E-03	136	0.40003E-02	-0.26657E-02
137	0.17449E-02	-0.15886E-02	138	0.24883E-01	-0.25430E-02
139	0.21657E-01	-0.37782E-02	140	0.18461E-01	-0.49978E-02
141	0.11243E-01	-0.60831E-02	142	0.15296E-01	-0.60862E-02
143	0.12170E-01	-0.70839E-02	144	0.49179E-02	-0.33839E-02
145	0.63484E-02	-0.47332E-02	146	0.74699E-02	-0.58016E-02
147	0.83449E-02	-0.69017E-02	148	0.22633E-02	-0.20455E-02
149	0.31813E-02	-0.29051E-02	150	0.69681E-18	-0.54785E-18
151	0.15167E-02	-0.16478E-02	152	0.88903E-03	-0.11544E-02
153	0.41502E-03	-0.59753E-03	154	0.13179E-02	-0.16611E-02
155	0.76115E-03	-0.11561E-02	156	0.26011E-01	-0.35291E-02
157	0.22786E-01	-0.47251E-02	158	0.19534E-01	-0.59028E-02
159	0.16277E-01	-0.70322E-02	160	0.90894E-02	-0.78334E-02
161	0.13017E-01	-0.79736E-02	162	0.97581E-02	-0.88095E-02
163	0.30942E-02	-0.38413E-02	164	0.41342E-02	-0.51231E-02
165	0.49028E-02	-0.64026E-02	166	0.55252E-02	-0.74143E-02
167	0.60373E-02	-0.84647E-02	168	0.17176E-02	-0.21614E-02
169	0.24692E-02	-0.30056E-02	170	0.30132E-18	-0.55033E-18
171	0.11301E-02	-0.16913E-02	172	0.35065E-03	-0.60047E-03
173	0.63841E-03	-0.11691E-02	174	0.95054E-03	-0.16841E-02
175	0.27159E-01	-0.44717E-02	176	0.23908E-01	-0.56410E-02
177	0.20616E-01	-0.68259E-02	178	0.17259E-01	-0.79039E-02
179	0.13861E-01	-0.89030E-02	180	0.10422E-01	-0.96557E-02
181	0.65029E-02	-0.93529E-02	182	0.69618E-02	-0.10290E-01
183	0.15039E-02	-0.39748E-02	184	0.18047E-02	-0.31287E-02
185	0.20218E-02	-0.55192E-02	186	0.24331E-02	-0.66579E-02
187	0.27469E-02	-0.78240E-02	188	0.30132E-02	-0.87703E-02
189	0.32503E-02	-0.97654E-02	190	0.12488E-02	-0.21835E-02
191	-0.69295E-18	-0.55142E-18	192	0.29139E-03	-0.60320E-03
193	0.52325E-03	-0.11716E-02	194	0.77618E-03	-0.17186E-02
195	0.34841E-02	-0.10600E-01	196	0.11802E-02	-0.31272E-02
197	0.11522E-17	-0.41172E-02	198	0.57415E-03	-0.32293E-02
199	0.80764E-03	-0.22406E-02	200	0.17180E-17	-0.54897E-02
201	0.19682E-17	-0.68402E-02	202	0.21892E-17	-0.78742E-02
203	0.23653E-17	-0.89458E-02	204	0.25301E-17	-0.98345E-02
205	0.27046E-17	-0.10775E-01	206	-0.31226E-18	-0.55352E-18
207	0.23380E-03	-0.60623E-03	208	0.41266E-03	-0.11845E-02
209	0.61520E-03	-0.17166E-02	210	0.58468E-18	-0.32066E-02
211	0.39568E-18	-0.22789E-02	212	0.39791E-03	-0.22418E-02
213	0.45800E-03	-0.17365E-02	214	-0.13607E-18	-0.55452E-18
215	0.18050E-03	-0.60813E-03	216	0.30678E-03	-0.11820E-02
217	0.20538E-18	-0.17408E-02	218	0.14709E-03	-0.17491E-02
219	0.30186E-03	-0.17233E-02	220	0.20212E-03	-0.11901E-02
221	0.49068E-18	-0.55601E-18	222	0.12689E-03	-0.60939E-03
223	0.18174E-18	-0.11965E-02	224	0.10031E-03	-0.11894E-02
225	0.75786E-04	-0.61085E-03	226	0.64714E-18	-0.55652E-18
227	0.90847E-19	-0.60739E-03	228	0.24585E-04	-0.61349E-03
229	0.32352E-18	-0.55837E-18	230	0.12509E-18	-0.55627E-18

ELEMENT	SIGMA 11	SIGMA 22	SIGMA 12	SIGMA 33	ELEMENT	SIGMA 11	SIGMA 22	SIGMA 12	SIGMA 33
1	-0.1005E+02	0.6368E-01	-0.1017E+00	-0.1977E+01	2	-0.7734E+01	-0.8646E-01	0.1086E-01	-0.2008E+01
3	-0.1007E+02	-0.7820E-01	0.1727E+00	-0.2033E+01	4	-0.1013E+02	-0.4661E-01	0.4075E-01	-0.2035E+01
5	-0.1015E+02	-0.3826E+00	0.2928E+00	-0.2106E+01	6	-0.7772E+01	-0.1914E+00	0.8782E-01	-0.2033E+01
7	-0.1029E+02	-0.6700E+00	0.4468E+00	-0.2191E+01	8	-0.1043E+02	-0.1362E+00	0.4776E+00	-0.2114E+01
9	-0.1133E+02	-0.9832E+00	0.1113E+01	-0.2462E+01	10	-0.1071E+02	-0.1017E+01	0.1087E+01	-0.2345E+01
11	-0.1176E+02	-0.1781E+01	0.1661E+01	-0.2748E+01	12	-0.1087E+02	-0.1794E+01	0.1651E+01	-0.2533E+01
13	-0.1203E+02	-0.2369E+01	0.2082E+01	-0.2880E+01	14	-0.1015E+02	-0.9230E+00	0.3920E+00	-0.2216E+01
15	-0.1001E+02	-0.6146E+00	0.2567E+00	-0.2125E+01	16	-0.1023E+02	-0.5536E+00	0.5341E+00	-0.2156E+01
17	-0.1071E+02	-0.1222E+01	0.1036E+01	-0.2386E+01	18	-0.1033E+02	-0.9665E+00	0.7928E+00	-0.2259E+01
19	-0.1020E+02	-0.1177E+01	0.1069E+01	-0.2276E+01	20	-0.1092E+02	-0.1871E+01	0.1590E+01	-0.2558E+01
21	-0.1040E+02	-0.1932E+01	0.1544E+01	-0.2467E+01	22	-0.1103E+02	-0.2447E+01	0.1931E+01	-0.2696E+01
23	-0.1189E+02	-0.2836E+01	0.2486E+01	-0.2945E+01	24	-0.1088E+02	-0.2334E+01	0.2109E+01	-0.2643E+01
25	-0.1104E+02	-0.2960E+01	0.2241E+01	-0.2800E+01	26	-0.1028E+02	-0.2497E+01	0.1893E+01	-0.2555E+01
27	-0.1080E+02	-0.2780E+01	0.2528E+01	-0.2717E+01	28	-0.1163E+02	-0.3202E+01	0.2845E+01	-0.2967E+01
29	-0.1061E+02	-0.3151E+01	0.2883E+01	-0.2753E+01	30	-0.1133E+02	-0.3535E+01	0.3170E+01	-0.2972E+01
31	-0.1039E+02	-0.3481E+01	0.3210E+01	-0.2775E+01	32	-0.1098E+02	-0.3809E+01	0.3456E+01	-0.2958E+01
33	-0.1019E+02	-0.1332E+01	0.4604E+00	-0.2305E+01	34	-0.1000E+02	-0.1606E+01	0.6995E+00	-0.2321E+01
35	-0.9838E+01	-0.1370E+01	0.5550E+00	-0.2242E+01	36	-0.1013E+02	-0.2123E+01	0.8681E+00	-0.2450E+01
37	-0.1043E+02	-0.2079E+01	0.1424E+01	-0.2501E+01	38	-0.1017E+02	-0.1648E+01	0.1216E+01	-0.2363E+01
39	-0.1044E+02	-0.2081E+01	0.1683E+01	-0.2504E+01	40	-0.1005E+02	-0.2717E+01	0.1610E+01	-0.2553E+01
41	-0.1042E+02	-0.3069E+01	0.2109E+01	-0.2698E+01	42	-0.1006E+02	-0.2719E+01	0.1895E+01	-0.2555E+01
43	-0.1033E+02	-0.2952E+01	0.2247E+01	-0.2656E+01	44	-0.1094E+02	-0.3308E+01	0.2514E+01	-0.2849E+01
45	-0.1036E+02	-0.3053E+01	0.2192E+01	-0.2682E+01	46	-0.1011E+02	-0.3308E+01	0.2514E+01	-0.2849E+01
47	-0.1075E+02	-0.3681E+01	0.2794E+01	-0.2885E+01	48	-0.1050E+02	-0.3898E+01	0.3035E+01	-0.2879E+01
49	-0.1003E+02	-0.3629E+01	0.2833E+01	-0.2731E+01	50	-0.1008E+02	-0.3771E+01	0.3485E+01	-0.2771E+01
51	-0.1060E+02	-0.4087E+01	0.3723E+01	-0.2938E+01	52	-0.9716E+01	-0.3893E+01	0.3038E+01	-0.2722E+01
53	-0.1019E+02	-0.4196E+01	0.3265E+01	-0.2877E+01	54	-0.1030E+02	-0.2165E+01	0.1385E+01	-0.2492E+01
55	-0.1019E+02	-0.4332E+01	0.3965E+01	-0.2904E+01	56	-0.9748E+01	-0.4048E+01	0.3752E+01	-0.2759E+01
57	-0.9337E+01	-0.4303E+01	0.3987E+01	-0.2728E+01	58	-0.9730E+01	-0.4584E+01	0.4198E+01	-0.2863E+01
59	-0.8902E+01	-0.4552E+01	0.4222E+01	-0.2691E+01	60	-0.9231E+01	-0.4809E+01	0.4415E+01	-0.2808E+01
61	-0.9862E+01	-0.2344E+01	0.5648E+00	-0.2441E+01	62	-0.1014E+02	-0.2570E+01	0.7156E+00	-0.2542E+01
63	-0.1001E+02	-0.2394E+01	0.1403E+01	-0.2480E+01	64	-0.1005E+02	-0.2547E+01	0.1384E+01	-0.2519E+01
65	-0.1012E+02	-0.3002E+01	0.1619E+01	-0.2624E+01	66	-0.1013E+02	-0.3004E+01	0.1904E+01	-0.2626E+01
67	-0.9874E+01	-0.3543E+01	0.2190E+01	-0.2683E+01	68	-0.9919E+01	-0.3723E+01	0.2159E+01	-0.2728E+01
69	-0.9625E+01	-0.3336E+01	0.1955E+01	-0.2592E+01	70	-0.1024E+02	-0.3792E+01	0.2565E+01	-0.2806E+01
71	-0.9843E+01	-0.3535E+01	0.2370E+01	-0.2676E+01	72	-0.1006E+02	-0.3747E+01	0.2635E+01	-0.2761E+01
73	-0.9816E+01	-0.4292E+01	0.2946E+01	-0.2822E+01	74	-0.9619E+01	-0.4111E+01	0.2657E+01	-0.2746E+01
75	-0.9433E+01	-0.4065E+01	0.2763E+01	-0.2699E+01	76	-0.9835E+01	-0.4397E+01	0.3462E+01	-0.2846E+01
77	-0.9509E+01	-0.4165E+01	0.3288E+01	-0.2735E+01	78	-0.9523E+01	-0.4219E+01	0.2982E+01	-0.2748E+01
79	-0.9091E+01	-0.4404E+01	0.3457E+01	-0.2699E+01	80	-0.9429E+01	-0.4672E+01	0.3659E+01	-0.2820E+01
81	-0.8975E+01	-0.4843E+01	0.3820E+01	-0.2764E+01	82	-0.8789E+01	-0.4650E+01	0.3675E+01	-0.2688E+01
83	-0.8381E+01	-0.4794E+01	0.4426E+01	-0.2635E+01	84	-0.8661E+01	-0.5063E+01	0.4627E+01	-0.2745E+01
85	-0.8454E+01	-0.5089E+01	0.3968E+01	-0.2709E+01	86	-0.8272E+01	-0.4867E+01	0.3802E+01	-0.2628E+01
87	-0.9889E+01	-0.3716E+01	0.2340E+01	-0.2721E+01	88	-0.7793E+01	-0.5049E+01	0.4638E+01	-0.2568E+01
89	-0.7999E+01	-0.5303E+01	0.4829E+01	-0.2660E+01	90	-0.7091E+01	-0.5316E+01	0.4818E+01	-0.2481E+01
91	-0.7168E+01	-0.5576E+01	0.5013E+01	-0.2549E+01	92	-0.6039E+01	-0.5822E+01	0.5139E+01	-0.2372E+01
93	-0.6268E+01	-0.5615E+01	0.4984E+01	-0.2377E+01	94	-0.1015E+02	-0.3482E+01	0.5728E+00	-0.2726E+01
95	-0.9672E+01	-0.3149E+01	0.8149E+00	-0.2564E+01	96	-0.9832E+01	-0.3882E+01	0.1083E+01	-0.2743E+01
97	-0.9707E+01	-0.3383E+01	0.1235E+01	-0.2618E+01	98	-0.9768E+01	-0.3907E+01	0.1967E+01	-0.2735E+01
99	-0.9554E+01	-0.3345E+01	0.1734E+01	-0.2580E+01	100	-0.9502E+01	-0.3841E+01	0.2133E+01	-0.2669E+01
101	-0.9537E+01	-0.3978E+01	0.2366E+01	-0.2703E+01	102	-0.9646E+01	-0.4217E+01	0.2470E+01	-0.2773E+01
103	-0.9459E+01	-0.4171E+01	0.2576E+01	-0.2726E+01	104	-0.9133E+01	-0.4676E+01	0.2759E+01	-0.2762E+01
105	-0.9111E+01	-0.4588E+01	0.2995E+01	-0.2740E+01	106	-0.8953E+01	-0.4463E+01	0.2641E+01	-0.2683E+01
107	-0.8875E+01	-0.4529E+01	0.3083E+01	-0.2681E+01	108	-0.9184E+01	-0.4775E+01	0.3249E+01	-0.2792E+01
109	-0.8796E+01	-0.4678E+01	0.3286E+01	-0.2695E+01	110	-0.8349E+01	-0.5176E+01	0.3463E+01	-0.2705E+01
111	-0.8490E+01	-0.4999E+01	0.3282E+01	-0.2698E+01	112	-0.8118E+01	-0.4906E+01	0.3313E+01	-0.2605E+01

115	-0.7844E+01	-0.3050E+01	0.3464E+01	-0.2579E+01	116	-0.7210E+01	-0.5348E+01	0.4028E+01	-0.2511E+01
117	-0.7140E+01	-0.3514E+01	0.4154E+01	-0.2531E+01	118	-0.6673E+01	-0.5603E+01	0.4086E+01	-0.2453E+01
119	-0.6287E+01	-0.3689E+01	0.4151E+01	-0.2375E+01	120	-0.4146E+01	-0.6044E+01	0.5056E+01	-0.2038E+01
121	-0.5313E+01	-0.3988E+01	0.5015E+01	-0.2260E+01	122	-0.5235E+01	-0.5756E+01	0.4025E+01	-0.2202E+01
123	-0.5940E+01	-0.3807E+01	0.4063E+01	-0.2349E+01	124	-0.9679E+01	-0.3844E+01	0.1582E+01	-0.2705E+01
125	-0.8897E+01	-0.4617E+01	0.2847E+01	-0.2703E+01	126	-0.4274E+01	-0.6440E+01	0.4760E+01	-0.2143E+01
127	-0.1529E+01	-0.6117E+01	0.4518E+01	-0.1529E+01	128	-0.9969E+01	-0.4336E+01	0.5710E+00	-0.2861E+01
129	-0.9771E+01	-0.4294E+01	0.4989E+00	-0.2813E+01	130	-0.9372E+01	-0.4187E+01	0.1213E+01	-0.2712E+01
131	-0.9350E+01	-0.4098E+01	0.1604E+01	-0.2690E+01	132	-0.9150E+01	-0.4456E+01	0.2054E+01	-0.2721E+01
133	-0.9190E+01	-0.4615E+01	0.1711E+01	-0.2761E+01	134	-0.9035E+01	-0.4790E+01	0.2407E+01	-0.2765E+01
135	-0.8808E+01	-0.4370E+01	0.2213E+01	-0.2636E+01	136	-0.8560E+01	-0.4858E+01	0.2876E+01	-0.2683E+01
137	-0.8510E+01	-0.4659E+01	0.2432E+01	-0.2634E+01	138	-0.8498E+01	-0.5031E+01	0.2910E+01	-0.2706E+01
139	-0.8126E+01	-0.4938E+01	0.2941E+01	-0.2613E+01	140	-0.7641E+01	-0.5381E+01	0.3425E+01	-0.2605E+01
141	-0.7639E+01	-0.5371E+01	0.3005E+01	-0.2602E+01	142	-0.7730E+01	-0.5201E+01	0.2981E+01	-0.2586E+01
143	-0.7221E+01	-0.5276E+01	0.3415E+01	-0.2500E+01	144	-0.7272E+01	-0.5595E+01	0.3525E+01	-0.2573E+01
145	-0.6631E+01	-0.5434E+01	0.3508E+01	-0.2413E+01	146	-0.6177E+01	-0.5555E+01	0.3379E+01	-0.2346E+01
147	-0.5935E+01	-0.5784E+01	0.3375E+01	-0.2344E+01	148	-0.6685E+01	-0.5683E+01	0.3417E+01	-0.2474E+01
149	-0.5334E+01	-0.5959E+01	0.3872E+01	-0.2259E+01	150	-0.4120E+01	-0.5824E+01	0.3770E+01	-0.1989E+01
151	-0.5247E+01	-0.5613E+01	0.3324E+01	-0.2172E+01	152	-0.1603E+01	-0.6413E+01	0.3785E+01	-0.1603E+01
153	-0.3521E+01	-0.6754E+01	0.4040E+01	-0.2055E+01	154	-0.4665E+01	-0.5965E+01	0.3664E+01	-0.2126E+01
155	-0.3296E+01	-0.5853E+01	0.3580E+01	-0.1830E+01	156	-0.8847E+01	-0.4530E+01	0.1870E+01	-0.2675E+01
157	-0.7219E+01	-0.5266E+01	0.2995E+01	-0.2497E+01	158	-0.3065E+01	-0.6851E+01	0.3456E+01	-0.1983E+01
159	-0.1642E+01	-0.6567E+01	0.3244E+01	-0.1642E+01	160	-0.9950E+01	-0.5013E+01	0.2200E+00	-0.2993E+01
161	-0.9426E+01	-0.4877E+01	0.5699E+00	-0.2861E+01	162	-0.9898E+01	-0.4756E+01	0.3127E+00	-0.2931E+01
163	-0.9380E+01	-0.4695E+01	0.1058E+01	-0.2815E+01	164	-0.9579E+01	-0.4676E+01	0.5553E+00	-0.2851E+01
165	-0.8892E+01	-0.4573E+01	0.1241E+01	-0.2693E+01	166	-0.8563E+01	-0.5115E+01	0.1304E+01	-0.2735E+01
167	-0.8489E+01	-0.4820E+01	0.1891E+01	-0.2662E+01	168	-0.8300E+01	-0.5100E+01	0.2363E+01	-0.2680E+01
169	-0.8296E+01	-0.5085E+01	0.1912E+01	-0.2676E+01	170	-0.7849E+01	-0.4987E+01	0.2348E+01	-0.2567E+01
171	-0.7781E+01	-0.5408E+01	0.2453E+01	-0.2638E+01	172	-0.7072E+01	-0.5473E+01	0.2977E+01	-0.2509E+01
173	-0.7008E+01	-0.5215E+01	0.2423E+01	-0.2444E+01	174	-0.6675E+01	-0.5644E+01	0.2909E+01	-0.2464E+01
175	-0.6167E+01	-0.5517E+01	0.2870E+01	-0.2337E+01	176	-0.5677E+01	-0.5612E+01	0.2738E+01	-0.2258E+01
177	-0.6180E+01	-0.5527E+01	0.2863E+01	-0.2341E+01	178	-0.5694E+01	-0.5683E+01	0.3169E+01	-0.2275E+01
179	-0.5263E+01	-0.5575E+01	0.3098E+01	-0.2168E+01	180	-0.4644E+01	-0.5882E+01	0.3004E+01	-0.2105E+01
181	-0.4221E+01	-0.6253E+01	0.3280E+01	-0.2095E+01	182	-0.2892E+01	-0.6157E+01	0.3207E+01	-0.1810E+01
183	-0.4074E+01	-0.5744E+01	0.3053E+01	-0.1968E+01	184	-0.2854E+01	-0.6925E+01	0.2975E+01	-0.1956E+01
185	-0.1671E+01	-0.6684E+01	0.2794E+01	-0.1671E+01	186	-0.2676E+01	-0.6213E+01	0.2845E+01	-0.1778E+01
187	-0.3783E+01	-0.6426E+01	0.3005E+01	-0.2042E+01	188	-0.7843E+01	-0.4972E+01	0.1897E+01	-0.2563E+01
189	-0.5245E+01	-0.5504E+01	0.2666E+01	-0.2150E+01	190	-0.9959E+01	-0.4998E+01	-0.7186E-02	-0.2991E+01
191	-0.9922E+01	-0.5318E+01	0.7753E-01	-0.3048E+01	192	-0.8938E+01	-0.4755E+01	0.7527E+00	-0.2739E+01
193	-0.9639E+01	-0.4918E+01	0.2354E+00	-0.2912E+01	194	-0.9191E+01	-0.4930E+01	0.6245E+00	-0.2824E+01
195	-0.9534E+01	-0.4835E+01	0.3075E+00	-0.2874E+01	196	-0.9212E+01	-0.5016E+01	0.2651E+00	-0.2846E+01
197	-0.9779E+01	-0.4896E+01	0.2002E+00	-0.2935E+01	198	-0.7754E+01	-0.4912E+01	0.1322E+01	-0.2533E+01
199	-0.7825E+01	-0.5197E+01	0.1835E+01	-0.2604E+01	200	-0.8831E+01	-0.4840E+01	0.7102E+00	-0.2734E+01
201	-0.8267E+01	-0.5145E+01	0.1098E+01	-0.2682E+01	202	-0.8271E+01	-0.5161E+01	0.6383E+00	-0.2686E+01
203	-0.7245E+01	-0.5462E+01	0.2277E+01	-0.2542E+01	204	-0.7243E+01	-0.5455E+01	0.1738E+01	-0.2540E+01
205	-0.6192E+01	-0.5572E+01	0.2189E+01	-0.2353E+01	206	-0.6706E+01	-0.5328E+01	0.2270E+01	-0.2407E+01
207	-0.5500E+01	-0.5399E+01	0.2215E+01	-0.2180E+01	208	-0.5537E+01	-0.5547E+01	0.2566E+01	-0.2217E+01
209	-0.4796E+01	-0.5935E+01	0.2785E+01	-0.2146E+01	210	-0.4787E+01	-0.5898E+01	0.2446E+01	-0.2137E+01
211	-0.3715E+01	-0.6152E+01	0.2616E+01	-0.1973E+01	212	-0.4457E+01	-0.5850E+01	0.2748E+01	-0.2061E+01
213	-0.2675E+01	-0.6977E+01	0.2575E+01	-0.1931E+01	214	-0.1693E+01	-0.6773E+01	0.2422E+01	-0.1693E+01
215	-0.2539E+01	-0.6432E+01	0.2491E+01	-0.1794E+01	216	-0.3580E+01	-0.6559E+01	0.2586E+01	-0.2028E+01
217	-0.3463E+01	-0.6089E+01	0.2570E+01	-0.1910E+01	218	-0.6704E+01	-0.5320E+01	0.1731E+01	-0.2405E+01
219	-0.4448E+01	-0.5813E+01	0.2409E+01	-0.2052E+01	220	-0.2592E+01	-0.7037E+01	0.2225E+01	-0.1926E+01
221	-0.2452E+01	-0.6477E+01	0.2178E+01	-0.1786E+01	222	-0.3335E+01	-0.6663E+01	0.2317E+01	-0.2000E+01
223	-0.9921E+01	-0.5316E+01	-0.7996E-01	-0.3047E+01	224	-0.9910E+01	-0.5026E+01	-0.6686E-02	-0.2987E+01
225	-0.9805E+01	-0.5004E+01	-0.4474E-01	-0.2962E+01	226	-0.1000E+02	-0.5049E+01	-0.2374E-01	-0.3010E+01
227	-0.8853E+01	-0.4926E+01	0.3509E+00	-0.2756E+01	228	-0.9560E+01	-0.4943E+01	0.6256E-01	-0.2901E+01
229	-0.9803E+01	-0.4921E+01	-0.3529E-02	-0.2945E+01	230	-0.9272E+01	-0.4937E+01	0.2217E+00	-0.2842E+01
231	-0.9690E+01	-0.4892E+01	0.9488E-01	-0.2916E+01	232	-0.9297E+01	-0.5035E+01	0.1972E-01	-0.2866E+01

235	-0.6931E+01	-0.5387E+01	0.9581E+00	-0.2453E+01	236	-0.7811E+01	-0.5046E+01	0.6542E+00	-0.2371E+01
237	-0.8478E+01	-0.5097E+01	0.2054E+00	-0.2713E+01	238	-0.8455E+01	-0.5007E+01	0.4726E+00	-0.2697E+01
239	-0.9071E+01	-0.4886E+01	0.3195E+00	-0.2791E+01	240	-0.6191E+01	-0.5438E+01	0.1546E+01	-0.2326E+01
241	-0.6210E+01	-0.5314E+01	0.1967E+01	-0.2345E+01	242	-0.5788E+01	-0.5409E+01	0.1891E+01	-0.2239E+01
243	-0.4831E+01	-0.5787E+01	0.2301E+01	-0.2124E+01	244	-0.4851E+01	-0.5869E+01	0.1748E+01	-0.2144E+01
245	-0.4181E+01	-0.6149E+01	0.2336E+01	-0.2066E+01	246	-0.4140E+01	-0.5985E+01	0.2154E+01	-0.2025E+01
247	-0.1714E+01	-0.6855E+01	0.2089E+01	-0.1714E+01	248	-0.3998E+01	-0.6104E+01	0.2173E+01	-0.2020E+01
249	-0.3274E+01	-0.6416E+01	0.2049E+01	-0.1938E+01	250	-0.3219E+01	-0.6757E+01	0.1968E+01	-0.1995E+01
251	-0.3125E+01	-0.6379E+01	0.2007E+01	-0.1901E+01	252	-0.2494E+01	-0.7074E+01	0.1925E+01	-0.1914E+01
253	-0.2389E+01	-0.6654E+01	0.1890E+01	-0.1809E+01	254	-0.5769E+01	-0.5333E+01	0.1469E+01	-0.2220E+01
255	-0.3957E+01	-0.5940E+01	0.1990E+01	-0.1979E+01	256	-0.1003E+02	-0.5178E+01	-0.7420E+01	-0.3041E+01
257	-0.1001E+02	-0.5066E+01	-0.1144E+00	-0.3014E+01	258	-0.9914E+01	-0.5043E+01	-0.9733E+01	-0.2991E+01
259	-0.1006E+02	-0.4967E+01	-0.6207E+01	-0.3006E+01	260	-0.1005E+02	-0.4964E+01	-0.1144E+00	-0.3003E+01
261	-0.9827E+01	-0.5019E+01	-0.1166E+00	-0.2969E+01	262	-0.9095E+01	-0.4984E+01	0.1175E+00	-0.2816E+01
263	-0.9714E+01	-0.4991E+01	-0.1819E+01	-0.2941E+01	264	-0.9572E+01	-0.4916E+01	-0.5381E+02	-0.2898E+01
265	-0.9604E+01	-0.5045E+01	-0.8757E+01	-0.2930E+01	266	-0.1006E+02	-0.4924E+01	0.1210E+01	-0.2996E+01
267	-0.1006E+02	-0.4925E+01	-0.1023E+00	-0.2997E+01	268	-0.6243E+01	-0.5215E+01	0.1054E+01	-0.2292E+01
269	-0.6290E+01	-0.5405E+01	0.1291E+01	-0.2339E+01	270	-0.8188E+01	-0.4941E+01	0.5640E+00	-0.2626E+01
271	-0.7322E+01	-0.5302E+01	0.7043E+00	-0.2525E+01	272	-0.7321E+01	-0.5295E+01	0.4102E+00	-0.2523E+01
273	-0.8211E+01	-0.5032E+01	0.2968E+00	-0.2649E+01	274	-0.8904E+01	-0.5071E+01	-0.5400E+03	-0.2795E+01
275	-0.9470E+01	-0.4896E+01	0.1227E+00	-0.2877E+01	276	-0.8876E+01	-0.4959E+01	0.1189E+00	-0.2767E+01
277	-0.4470E+01	-0.6054E+01	0.1802E+01	-0.2105E+01	278	-0.4395E+01	-0.5755E+01	0.1738E+01	-0.2030E+01
279	-0.5321E+01	-0.5857E+01	0.1136E+01	-0.2236E+01	280	-0.5333E+01	-0.5906E+01	0.1411E+01	-0.2248E+01
281	-0.1726E+01	-0.6905E+01	0.1798E+01	-0.1726E+01	282	-0.3742E+01	-0.6355E+01	0.1674E+01	-0.2020E+01
283	-0.3761E+01	-0.6429E+01	0.1801E+01	-0.2038E+01	284	-0.3024E+01	-0.6554E+01	0.1591E+01	-0.1916E+01
285	-0.3634E+01	-0.6397E+01	0.1727E+01	-0.2006E+01	286	-0.3089E+01	-0.6814E+01	0.1770E+01	-0.1981E+01
287	-0.2474E+01	-0.7108E+01	0.1446E+01	-0.1916E+01	288	-0.2353E+01	-0.6624E+01	0.1627E+01	-0.1795E+01
289	-0.3616E+01	-0.6324E+01	0.1601E+01	-0.1988E+01	290	-0.3042E+01	-0.6850E+01	0.1456E+01	-0.1979E+01
291	-0.2965E+01	-0.6539E+01	0.1542E+01	-0.1901E+01	292	-0.9995E+01	-0.5052E+01	-0.5193E+01	-0.3009E+01
293	-0.1005E+02	-0.4994E+01	-0.5150E+01	-0.3009E+01	294	-0.1017E+02	-0.5024E+01	-0.6851E+01	-0.3039E+01
295	-0.1006E+02	-0.5016E+01	-0.1033E+00	-0.3016E+01	296	-0.1007E+02	-0.5019E+01	-0.5095E+01	-0.3019E+01
297	-0.1009E+02	-0.5039E+01	-0.1057E+00	-0.3026E+01	298	-0.1045E+02	-0.4973E+01	-0.1810E+01	-0.3084E+01
299	-0.1033E+02	-0.4942E+01	-0.1034E+00	-0.3054E+01	300	-0.9522E+01	-0.5024E+01	0.4053E+01	-0.2709E+01
301	-0.1009E+02	-0.5038E+01	0.8713E+02	-0.3025E+01	302	-0.1054E+02	-0.4928E+01	-0.7585E+01	-0.3095E+01
303	-0.1061E+02	-0.4944E+01	0.3226E+01	-0.3110E+01	304	-0.1008E+02	-0.5059E+01	-0.9159E+01	-0.3028E+01
305	-0.1005E+02	-0.4917E+01	-0.8427E+01	-0.2992E+01	306	-0.5720E+01	-0.5651E+01	0.9263E+00	-0.2274E+01
307	-0.5710E+01	-0.5610E+01	0.4164E+00	-0.2264E+01	308	-0.5047E+01	-0.5788E+01	0.1087E+01	-0.2167E+01
309	-0.7028E+01	-0.5229E+01	0.6976E+00	-0.2451E+01	310	-0.7026E+01	-0.5222E+01	0.4036E+00	-0.2450E+01
311	-0.7957E+01	-0.5073E+01	0.1690E+00	-0.2606E+01	312	-0.7977E+01	-0.5152E+01	0.6333E+01	-0.2626E+01
313	-0.8757E+01	-0.4929E+01	0.2305E+00	-0.2737E+01	314	-0.8785E+01	-0.5041E+01	0.1110E+00	-0.2765E+01
315	-0.9455E+01	-0.5059E+01	-0.7423E+01	-0.2903E+01	316	-0.1004E+02	-0.4915E+01	0.5746E+01	-0.2991E+01
317	-0.9420E+01	-0.4918E+01	-0.4260E+01	-0.2868E+01	318	-0.4098E+01	-0.6237E+01	0.1482E+01	-0.2067E+01
319	-0.4074E+01	-0.6138E+01	0.1156E+01	-0.2042E+01	320	-0.5059E+01	-0.5837E+01	0.1362E+01	-0.2179E+01
321	-0.1735E+01	-0.6939E+01	0.1519E+01	-0.1735E+01	322	-0.3563E+01	-0.6470E+01	0.1384E+01	-0.2007E+01
323	-0.3517E+01	-0.6289E+01	0.1324E+01	-0.1961E+01	324	-0.2324E+01	-0.6727E+01	0.1364E+01	-0.1810E+01
325	-0.2423E+01	-0.7126E+01	0.1379E+01	-0.1910E+01	326	-0.2911E+01	-0.6654E+01	0.1085E+01	-0.1913E+01
327	-0.2969E+01	-0.6887E+01	0.1243E+01	-0.1971E+01	328	-0.3503E+01	-0.6455E+01	0.1203E+01	-0.1992E+01
329	-0.3457E+01	-0.6274E+01	0.1143E+01	-0.1946E+01	330	-0.1007E+02	-0.5057E+01	0.5013E+01	-0.3026E+01
331	-0.1065E+02	-0.4924E+01	-0.8294E+01	-0.3115E+01	332	-0.4832E+01	-0.5800E+01	0.7045E+00	-0.2126E+01
333	-0.5524E+01	-0.5805E+01	0.2310E+00	-0.2266E+01	334	-0.5460E+01	-0.5548E+01	0.4069E+00	-0.2201E+01
335	-0.4726E+01	-0.5773E+01	0.4799E+00	-0.2100E+01	336	-0.4889E+01	-0.6024E+01	0.8107E+00	-0.2183E+01
337	-0.3914E+01	-0.6098E+01	0.1081E+01	-0.2003E+01	338	-0.6816E+01	-0.5362E+01	0.3191E+01	-0.2436E+01
339	-0.6832E+01	-0.5425E+01	0.3191E+01	-0.2451E+01	340	-0.7851E+01	-0.5047E+01	0.2481E+00	-0.2580E+01
341	-0.7871E+01	-0.5126E+01	0.1424E+00	-0.2599E+01	342	-0.9388E+01	-0.4910E+01	0.9834E+01	-0.2860E+01
343	-0.8682E+01	-0.4971E+01	-0.5439E+01	-0.2731E+01	344	-0.8709E+01	-0.5080E+01	-0.5439E+01	-0.2758E+01
345	-0.9423E+01	-0.5051E+01	0.6671E+01	-0.2895E+01	346	-0.1067E+02	-0.4929E+01	0.6433E+01	-0.3119E+01
347	-0.1007E+02	-0.5064E+01	-0.7481E+01	-0.3027E+01	348	-0.1003E+02	-0.4915E+01	-0.7481E+01	-0.2989E+01
349	-0.3974E+01	-0.6339E+01	0.9685E+00	-0.2063E+01	350	-0.1743E+01	-0.6970E+01	0.1263E+01	-0.1743E+01
351	-0.2412E+01	-0.7154E+01	0.1125E+01	-0.1913E+01	352	-0.2303E+01	-0.6717E+01	0.1116E+01	-0.1804E+01

353	-0.3398E+01	-0.6615E+01	0.8863E+00	-0.2002E+01	356	-0.3374E+01	-0.6520E+01	0.8426E+00	-0.1977E+01
357	-0.4782E+01	-0.5998E+01	0.5860E+00	-0.2156E+01	358	-0.4633E+01	-0.6091E+01	0.4927E-01	-0.2145E+01
359	-0.4657E+01	-0.6189E+01	0.4927E-01	-0.2169E+01	360	-0.3725E+01	-0.6280E+01	0.3016E+00	-0.2001E+01
361	-0.3794E+01	-0.6297E+01	0.3792E+00	-0.2018E+01	362	-0.3825E+01	-0.6424E+01	0.6247E+00	-0.2050E+01
363	-0.3330E+01	-0.6509E+01	0.7477E+00	-0.1968E+01	364	-0.1751E+01	-0.7005E+01	0.1013E+01	-0.1751E+01
365	-0.2284E+01	-0.6825E+01	0.8823E+00	-0.1822E+01	366	-0.2370E+01	-0.7170E+01	0.8894E+00	-0.1908E+01
367	-0.3354E+01	-0.6604E+01	0.7915E+00	-0.1992E+01	368	-0.2825E+01	-0.6714E+01	0.6659E+00	-0.1908E+01
369	-0.2885E+01	-0.6952E+01	0.7872E+00	-0.1967E+01	370	-0.3776E+01	-0.6483E+01	0.1445E+00	-0.2052E+01
371	-0.3254E+01	-0.6643E+01	0.3594E-01	-0.1979E+01	372	-0.3302E+01	-0.6443E+01	0.4737E+00	-0.1949E+01
373	-0.3286E+01	-0.6439E+01	0.3045E+00	-0.1945E+01	374	-0.3345E+01	-0.6613E+01	0.4896E+00	-0.1991E+01
375	-0.2811E+01	-0.6710E+01	0.6205E+00	-0.1904E+01	376	-0.1757E+01	-0.7027E+01	0.7822E+00	-0.1757E+01
377	-0.2378E+01	-0.7189E+01	0.6606E+00	-0.1914E+01	378	-0.2276E+01	-0.6779E+01	0.6579E+00	-0.1811E+01
379	-0.2875E+01	-0.6966E+01	0.5179E+00	-0.1968E+01	380	-0.3272E+01	-0.6715E+01	0.3594E-01	-0.1997E+01
381	-0.2776E+01	-0.6757E+01	0.1721E+00	-0.1907E+01	382	-0.3329E+01	-0.6609E+01	0.3204E+00	-0.1987E+01
383	-0.2793E+01	-0.6762E+01	0.2057E+00	-0.1911E+01	384	-0.2849E+01	-0.6983E+01	0.3299E+00	-0.1966E+01
385	-0.2266E+01	-0.6849E+01	0.4304E+00	-0.1823E+01	386	-0.1760E+01	-0.7042E+01	0.5499E+00	-0.1760E+01
387	-0.2353E+01	-0.7198E+01	0.4328E+00	-0.1910E+01	388	-0.2833E+01	-0.6985E+01	0.8018E-01	-0.1964E+01
389	-0.2270E+01	-0.6949E+01	0.5293E-01	-0.1844E+01	390	-0.2259E+01	-0.6818E+01	0.2057E+00	-0.1815E+01
391	-0.1765E+01	-0.7059E+01	0.3284E+00	-0.1765E+01	392	-0.2360E+01	-0.7222E+01	0.2060E+00	-0.1916E+01
393	-0.2323E+01	-0.7161E+01	0.5293E-01	-0.1897E+01	394	-0.1772E+01	-0.7089E+01	0.1065E+00	-0.1772E+01

 * CONTRAINTES (N.T) POUR LES NOEUDS DE CONTACT

ZONE NO	1 REFERENCE CONTRAINTES	1 ANGLE (OX,N)	-0.900E+02	MODULE
NOEUD	NORMALE	CISAILLEMENT	TANGENTIELLE	
1	-0.11392E-01	0.45446E-01	0.00000E+00	0.45446E-01
3	-0.17190E+00	-0.11479E+00	0.00000E+00	0.11479E+00
5	-0.50067E+00	-0.62772E+00	0.00000E+00	0.62772E+00
6	-0.12605E+01	-0.12869E+01	0.00000E+00	0.12869E+01
7	-0.19817E+01	-0.17978E+01	0.00000E+00	0.17978E+01
13	-0.25130E+01	-0.22256E+01	0.00000E+00	0.22256E+01
15	-0.29396E+01	-0.26196E+01	0.00000E+00	0.26196E+01
16	-0.32961E+01	-0.29661E+01	0.00000E+00	0.29661E+01
17	-0.36083E+01	-0.32791E+01	0.00000E+00	0.32791E+01
27	-0.38891E+01	-0.35547E+01	0.00000E+00	0.35547E+01
30	-0.41556E+01	-0.38134E+01	0.00000E+00	0.38134E+01
31	-0.44062E+01	-0.40502E+01	0.00000E+00	0.40502E+01
32	-0.46481E+01	-0.42786E+01	0.00000E+00	0.42786E+01
45	-0.48885E+01	-0.44893E+01	0.00000E+00	0.44893E+01
48	-0.51382E+01	-0.46978E+01	0.00000E+00	0.46978E+01
49	-0.53986E+01	-0.48867E+01	0.00000E+00	0.48867E+01
50	-0.56714E+01	-0.50454E+01	0.00000E+00	0.50454E+01
65	-0.59516E+01	-0.50699E+01	0.00000E+00	0.50699E+01
69	-0.62002E+01	-0.47779E+01	0.00000E+00	0.47779E+01
83	-0.64278E+01	-0.41141E+01	0.00000E+00	0.41141E+01
87	-0.66100E+01	-0.34948E+01	0.00000E+00	0.34948E+01
100	-0.67254E+01	-0.30043E+01	0.00000E+00	0.30043E+01
115	-0.68116E+01	-0.25971E+01	0.00000E+00	0.25971E+01
132	-0.68884E+01	-0.22451E+01	0.00000E+00	0.22451E+01
150	-0.69446E+01	-0.19374E+01	0.00000E+00	0.19374E+01
170	-0.69838E+01	-0.16547E+01	0.00000E+00	0.16547E+01
191	-0.70116E+01	-0.13872E+01	0.00000E+00	0.13872E+01
206	-0.70433E+01	-0.11335E+01	0.00000E+00	0.11335E+01
214	-0.70676E+01	-0.89492E+00	0.00000E+00	0.89492E+00

220 0.70795E+01 -0.43704E+00 0.00000E+00 0.43704E+00
 229 -0.71233E+01 -0.21365E+00 0.00000E+00 0.21365E+00

* REACTIONS SUR LES NOEUDS BLOQUES

NOEUD NO : 197 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -20.2843
 NOEUD NO : 200 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -34.1207
 NOEUD NO : 201 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -39.0908
 NOEUD NO : 202 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -43.4793
 NOEUD NO : 203 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -46.9782
 NOEUD NO : 204 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -50.2510
 NOEUD NO : 205 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -26.8578
 NOEUD NO : 210 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -11.6124
 NOEUD NO : 211 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -6.96559
 NOEUD NO : 217 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -4.07904
 NOEUD NO : 223 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -3.48658
 NOEUD NO : 227 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -2.87051
 NOEUD NO : 230 REACTION SUR SON 1-ER D.-L. : -1.15753
 NOEUD NO : 230 REACTION SUR SON 2-EME D.-L. : 4.51972

* DEPLACEMENTS, FORCES ET DENSITES DE FORCES EXPRIMES EN REPERES LOCAUX (NORMALE,TANGENTE)

A PARTIR DES RESIDUS, POUR LES NOEUDS DE CONTACT
 ZONE REFERENCE 1

NOEUD	ANGLE-----	DEPLACEMENT-----		FORCE-----		DENSITE DE FORCE-----	
		NORMAL	TANGENTIEL	NORMALE	TANGENTIELLE	NORMALE	TANGENTIELLE
1	-0.9000D+02	-0.5697D-03	0.1466D-01	-0.3351D-03	-0.3495D-04	-0.5361D-03	-0.5593D-04
3	-0.9000D+02	-0.2708D-03	0.1375D-01	0.4761D-03	0.8020D-03	0.3808D-03	0.6416D-03
5	-0.9000D+02	-0.4848D-04	0.1282D-01	0.5628D-03	-0.7517D-04	0.4502D-03	-0.6013D-04
6	-0.9000D+02	0.1318D-18	0.1180D-01	-0.1157D+01	-0.1154D+01	-0.9258D+00	-0.9230D+00
7	-0.9000D+02	0.1915D-18	0.1073D-01	-0.2155D+01	-0.2155D+01	-0.1724D+01	-0.1724D+01
13	-0.9000D+02	0.2323D-18	0.9678D-02	-0.2833D+01	-0.2835D+01	-0.2266D+01	-0.2268D+01
15	-0.9000D+02	0.2657D-18	0.8646D-02	-0.3400D+01	-0.3403D+01	-0.2720D+01	-0.2723D+01
16	-0.9000D+02	0.2928D-18	0.7646D-02	-0.3871D+01	-0.3874D+01	-0.3097D+01	-0.3099D+01
17	-0.9000D+02	0.3166D-18	0.6682D-02	-0.4292D+01	-0.4293D+01	-0.3434D+01	-0.3435D+01
27	-0.9000D+02	0.3369D-18	0.5756D-02	-0.4658D+01	-0.4658D+01	-0.3726D+01	-0.3727D+01
30	-0.9000D+02	0.3562D-18	0.4872D-02	-0.5009D+01	-0.5008D+01	-0.4007D+01	-0.4007D+01
31	-0.9000D+02	0.3733D-18	0.4031D-02	-0.5330D+01	-0.5328D+01	-0.4264D+01	-0.4263D+01
32	-0.9000D+02	0.3900D-18	0.3239D-02	-0.5645D+01	-0.5642D+01	-0.4516D+01	-0.4514D+01
45	-0.9000D+02	0.4056D-18	0.2498D-02	-0.5949D+01	-0.5948D+01	-0.4759D+01	-0.4758D+01
48	-0.9000D+02	0.4218D-18	0.1815D-02	-0.6269D+01	-0.6268D+01	-0.5015D+01	-0.5014D+01
49	-0.9000D+02	0.4385D-18	0.1199D-02	-0.6607D+01	-0.6606D+01	-0.5286D+01	-0.5285D+01
50	-0.9000D+02	0.4569D-18	0.6663D-03	-0.6993D+01	-0.6993D+01	-0.5595D+01	-0.5594D+01
65	-0.9000D+02	0.4802D-18	0.2432D-03	-0.7503D+01	-0.7503D+01	-0.6002D+01	-0.6003D+01
69	-0.9000D+02	0.5090D-18	0.3394D-15	-0.8162D+01	-0.7602D+01	-0.6529D+01	-0.6082D+01
83	-0.9000D+02	0.5289D-18	0.1290D-17	-0.8595D+01	-0.5073D+01	-0.6876D+01	-0.4059D+01
87	-0.9000D+02	0.5339D-18	0.4792D-18	-0.8676D+01	-0.4332D+01	-0.6941D+01	-0.3466D+01
100	-0.9000D+02	0.5384D-18	-0.6720D-18	-0.8750D+01	-0.3728D+01	-0.7000D+01	-0.2982D+01
115	-0.9000D+02	0.5415D-18	-0.3973D-18	-0.8799D+01	-0.3226D+01	-0.7039D+01	-0.2580D+01
132	-0.9000D+02	0.5455D-18	0.9929D-18	-0.8865D+01	-0.2787D+01	-0.7092D+01	-0.2230D+01
150	-0.9000D+02	0.5478D-18	0.6968D-18	-0.8903D+01	-0.2410D+01	-0.7122D+01	-0.1928D+01
170	-0.9000D+02	0.5503D-18	0.3013D-18	-0.8943D+01	-0.2060D+01	-0.7154D+01	-0.1648D+01
191	-0.9000D+02	0.5514D-18	-0.6929D-18	-0.8961D+01	-0.1727D+01	-0.7169D+01	-0.1381D+01
206	-0.9000D+02	0.5535D-18	-0.3123D-18	-0.8995D+01	-0.1409D+01	-0.7196D+01	-0.1127D+01

221	-0.9000D+02	0.3560D-18	0.4907D-18	-0.9035D+01	-0.8269D+00	-0.7228D+01	-0.6615D+00
226	-0.9000D+02	0.3565D-18	0.6471D-18	-0.9044D+01	-0.8424D+00	-0.7235D+01	-0.4339D+00
229	-0.9000D+02	0.3584D-18	0.3235D-18	-0.9074D+01	-0.2599D+00	-0.7259D+01	-0.2079D+00

SOMME DES FORCES NORMALES : -0.19548E+03
 SOMME DES FORCES TANGENTIELLES : -0.10877E+03
 SOMME DES DENSITES NORMALES : -0.15638E+03
 SOMME DES DENSITES TANGENTIELLES : -0.87013E+02

* NOMS DES FICHIERS RESULTATS :

DEPLACEMENTS : TG1BS.DAT
 CONTRAINTES : TG1TAE.DAT

FIN DU MODULE RESOLV

!!

ANNEXE 1Contenu des communs spécifiques au module GYPTIS1.1 Commun des paramètres généraux (CTFPAR) :

COMMON /CTFPAR/ NTDL,NOE,NE,NB,NBZCS,NBZC,NBZF,NBNC,NBNF,NEFR,
 + NBZCS,NBNS,NIPAR1,NOPTIO,NIPAR2(2)

où :

NTDL : nombre total de degrés de liberté,
 NOE : nombre de noeuds,
 NE : nombre d'éléments,
 NB : nombre d'équations bloquées en conditions aux limites,
 NBZCS : nombre de portions de frontière de contact en "vis à vis" (pair), traitées en tant que contact de deux solides,
 NBZC : nombre de portions de frontière de contact (condition unilatérale et contact de deux solides),
 NBZF : nombre de portions de frontière de contact qui sont de frottement,
 NEFR : nombre d'éléments frontaliers référencés,
 NBNS : nombre d'équations de contact et frottement condensées (pour SORP avec condensation),
 NIPAR1 : un mot libre,
 NOPTIO : indicateur de l'hypothèse élastique choisie :
 NOPTIO = 1 : contraintes planes,
 NOPTIO = 2 : déformations planes,
 NOPTIO = 0 : voir AXISYM.
 NIPAR2 : deux mots libres.

1.2 Commun des variables logiques (CTFLOG) :

COMMON /CTFLOG/ PROF,AXISYM,CDUNS,CDUNIL,CDFROT,ACTGFR,MIXBLR,
 + CONDNS,GSSUR,NILOG1(2),SERVAR,NILOG2(3)

où la valeur VRAI signifie :

PROF : stockage profil (MUA) de la matrice de rigidité, sinon morse, non encore implémenté,
 AXISYM : l'hypothèse élastique retenue est : symétrie de révolution (éléments TRIA AP1D),
 CDUNS : il s'agit d'un problème de contact de deux solides,
 CDUNIL : il s'agit d'un problème de contact,
 CDFROT : il s'agit d'un problème de contact avec frottement,
 ACTGFR : seuils de glissement réactualisables (loi de Coulomb),
 MIXBLR : il existe des "conditions mixtes" c'est à dire des noeuds qui sont à la fois de contact (équation normale) et bloqués en conditions aux limites (équation tangentielle),

CONDNS : on fait appel à la condensation,
GSSUR : on a demandé (valeur de $\omega < 0.$) la recherche du coefficient de surrelaxation OMEGA optimum,
NILOG1 : deux mots libres,
SERVAR : on désire conserver toutes les S.D. créées,
NILOG2 : trois mots libres.

1.3 Commun "multigrilles" (CTFMMG) :

C'est un commun de compatibilité avec le module mettant en oeuvre une méthode multigrilles, dont GYPTIS emprunte certains utilitaires pour la gestion des S.D.

COMMON /CTFMMG/ NIVGRI,NBGRIL,NIMMG1(8)

Où :

NIVGRI : niveau de grille, ici fixé à zéro,
NBGRIL : nombre de grilles mises en jeu, ici fixé à un,
NIMMG1 : huit mots libres.

1.4 Commun des paramètres de la résolution (CTFRES) :

COMMON /CTFRES/ ITERAT,IREACT,NIRES1,MAXITR,MINITR,ISR,NIRES2,
 + OMEGA,OMEGA1,OMEGA2,SUM,EPS,NIRES3(3)

Où :

ITERAT : compteur du nombre total d'itérations,
IREACT : compteur du nombre de réactualisations des seuils de glissement,
NIRES1 : un mot libre,
MAXITR : nombre maximum d'itérations permis,
MINITR : nombre minimum d'itérations permis,
ISR : nombre de valeurs test de ω (recherche du ω optimum),
NIRES2 : un mot libre,
OMEGA : (double précision) valeur du coefficient de surrelaxation ω ,
OMEGA1 : (double précision) valeur test minimale de ω (recherche du ω optimum),
OMEGA2 : (double précision) valeur test maximale de ω (recherche du ω optimum),
SUM : (double précision) valeur moyenne du résidu,
EPS : (double précision) tolérance sur la convergence,
NIRES3 : trois mots libres.

1.5 Commun des paramètres du frottement (CTFROT) :

COMMON /CTFROT/ ITFR,EPSFR,VALEPS(8)

Où :

ITFR : compteur des différentes valeurs adoptées pour la tolérance ϵ_{fr} sur la convergence de l'algorithme diagonal appliqué au frottement : $1 \leq ITFR \leq 8$
EPSFR : tolérance ϵ_{fr} : EPSFR = VALEPS (ITFR)
VALEPS : tableau réel des huit valeurs possibles pour ϵ_{fr} :
 1.E-02, .5E-02, ... , 1.E-05, .5E-05

1.6 Commun des paramètres "intermédiaires" (CTFINT) :

COMMON /CTFINT/ NMAT,NIINT1(9)

C'est un commun dans lequel les paramètres (sauf NMAT) ont des significations qui peuvent varier selon les étapes du calcul.

NMAT : nombre de matériaux (ou sous-domaines),
NIINT1 : neuf mots utilisés selon les besoins au cours des différentes étapes du calcul.

1.7 Commun "évolution" (CTFEVO) :

C'est un commun de compatibilité avec des problèmes d'évolution en fonction du temps.

COMMON /CTFEVO/ ITER,ITEMAX,NIEVO1(8)

Où :

ITER : compteur d'itération sur le temps (ici ITER = 1),
ITEMAX : nombre de pas de temps (ici ITEMAX = 1),
NIEVO1 : Huit mots libres.

ANNEXE 2 Arrêts en erreur

On détaille ci-dessous la signification des arrêts en erreur volontairement provoqués par un CALL ARRET (division par zéro). On donne entre parenthèses les noms des sous-programmes réalisant cet appel.

- 100 : on demande d'effacer de la mémoire centrale une S.D. NUMSD de niveau NISD qui ne s'y trouve pas (ACABAM),
- 101 : la sauvegarde automatique (ACABAM) d'une S.D. TAE (NUMSD = 7 ou 13) n'est pas prévue,
- 102 : le fichier de nom NOMFIC (72 caracteres) dont on demande la fermeture (FERMER) n'est pas connecté à une unité logique,
- 110 : le fichier de nom NOM (72 caracteres) qui doit contenir le maillage n'existe pas (LECNOP),
- 200 : un numéro de référence, fourni en données comme caractérisant une portion de frontière de contact, n'a pas été trouvé dans le maillage (DONGEN),
- 201 : on a déclaré un certain noeud NOD comme noeud de contact isolé. Pour qu'il soit accepté comme tel, il est nécessaire qu'il soit extrémité d'une arête référencée de contact, or ce n'est pas le cas (CISOLE),
- 202 : pour la I-ième portion de frontière de contact, on a déclaré une limite VCU de déplacement normal admis en escalier ($VCU \geq 1.E+15$) ce qui nécessite de décrire chaque marche de l'escalier par le nombre de noeuds qu'elle comporte. Le nombre total des noeuds ainsi donné n'est pas égal au nombre des noeuds référencés pour cette portion de frontière (LECVCU),
- 203 : il existe des "conditions mixtes" blocages en conditions aux limites - contact. L'erreur provient de ce qu'au moins un noeud de contact est soit bloqué sur ses deux d. l. soit bloqué sur son d. l. de contact : il y a donc conflit entre les descriptions du contact et les conditions aux limites (MIXTE),

- 204 : pour un problème à symétrie de révolution, on a déclaré un seul noeud supportant une force surfacique : ce chargement ne peut être défini qu'en repère global (\vec{x}, \vec{y}) et ce n'est pas le cas : on doit donner LOXN(1) Vrai (CHARA1),
- 205 : pour un problème d'élasticité plane, même erreur que ci-dessus (CHARP1),
- 207 : résolution : on utilise la méthode SORP condensée. Lors de la factorisation pour résoudre $A*U2 = \vec{R}$, le module CRMC1D a détecté un pivot nul (CONDEN),
- 209 : résolution : problème sans contact : on utilise la méthode directe $L*D*L^t$ et le module CRMC1D a détecté un pivot nul (RESOLD),
- 300 : on a demandé un assemblage morse de la matrice de rigidité (PROF faux), mais cette technique n'est pas implémentée (ASSMAT),
- 301 : la résolution SORP en stockage morse n'est pas implémentée (RESOLG),
- 303 : la résolution SORP condensé en stockage morse n'est pas implémentée (RESOLC),
- 305 : lors du calcul des contraintes par éléments, la S.D. TAE (NUMSD = 13) traitée n'est pas du type contraintes (RSIGMA),
- 310 : la résolution par la méthode de programmation mathématique de Lemke n'est pas implémentée (RLEMKE).

ANNEXE 3
Utilitaires complémentaires

Le module GYPTIS comporte deux utilitaires complémentaires pouvant être utilisés pour des phases de mise au point :

- 1) Impression du contenu d'un tableau :
réalisable dans tout sous-programme admettant le super tableau de travail M comme argument. Elle s'obtient par :

CALL TSTTAB (NOMT,M)

où NOMT est l'identificateur (4 caractères) du tableau.

- 2) Impression du contenu de toutes les zones communes spécifiques à GYPTIS. Elle s'obtient partout par :

CALL TSTCOM

TABLE DES MATIERES

I	- Introduction	3
II	- Formulation	6
	II.1 Introduction	7
	II.2 Le problème de Signorini avec frottement	8
	II.3 Le problème du contact entre plusieurs solides	11
	II.4 Formulation variationnelle pour les problèmes quasi-statiques	11
	II.5 Extension aux cas de la viscoélasticité et de la viscoplasticité	12
	II.6 Méthodes numériques utilisées dans le code d'éléments finis PROTIS	13
	II.7 Applications	16
	II.8 Comparaison des temps de calcul	21
III	- Options de prise en compte des données	25
IV	- Le module interactif GYPTXX	27
V	- Module GYPTIS : mise en oeuvre	28
VI	- Description détaillée des données	29
	Données générales	29
	Description des conditions aux limites	30
	Description du contact et du frottement	31
	Caractéristiques des matériaux	33
	Description des chargements surfaciques	33
	Choix de la méthode d'assemblage	34
	Données de la résolution	34
VII	- La structure de données CTFR	36
VIII	- Identification des S.D. traitées	40
IX	- Exemple test	41
	IX.1 Fichier de données pour la méthode SORP classique	42
	IX.2 Sortie imprimante SORP classique	45
	IX.3 Fichier de données pour la méthode SORP condensée	66
	IX.4 Sortie imprimante SORP condensée	69
ANNEXE 1	Contenu des communs spécifiques au module GYPTIS ..	87
ANNEXE 2	Arrêts en erreur	90
ANNEXE 3	Utilitaires complémentaires	92



LABORATOIRE DE MECANIQUE ET D'ACOUSTIQUE (L.M.A.)

**31. chemin Joseph-Aiguier
13402 MARSEILLE CEDEX 09**

**Téléphone : 91 22 40 00
Télécopieur : 91 22 08 75
Téléscripneur : CNRSMAR 430225 F**